

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**

Departamento de Ingeniería Eléctrica



**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

---

**DIAGRAMA DE PROCESOS PARA EL  
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE  
LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS.  
APLICACIÓN A TRANSFORMADORES  
DE POTENCIA**

---

**AUTOR:** DÍAZ VÁZQUEZ, ELIA

**TUTOR UNIVERSIDAD:** SANZ FEITO, JAVIER

**TUTOR EMPRESA:** MOSSI REYES, MAURICIO

**23 DE SEPTIEMBRE DE 2014**

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**Leganés**

## ÍNDICE

Lista de ilustraciones .....	3
Simbología.....	5
Resumen .....	6
Abstract.....	7
Agradecimientos .....	8
Cap. 1. Planteamiento del problema .....	9
1. Introducción .....	9
2. Motivación.....	12
3. Contexto y alcance .....	15
4. Objetivos y estructura .....	22
Cap. 2. Diagrama de procesos para el aseguramiento de la Calidad....	25
1. Introducción .....	25
2. Estandarización de procesos .....	26
2.1. Documentación requerida.....	30
2.2. Control de Calidad del suministro .....	30
3. Fase I: Oferta .....	32
3.1. Descripción de la fase .....	33
3.2. Documentación.....	34
3.3 Subprocesos.....	39
4. Fase II: Fabricación .....	41
4.1 Descripción de la fase .....	42
4.2 Documentación.....	43
5. Fase III: Autorización de envío.....	45
5.1 Descripción de la fase .....	45
5.2. Documentación .....	46

---

6.	Aplicación práctica: Transformador de potencia .....	47
6.1.	Descripción y funcionamiento del equipo .....	47
6.2.	Documentación oferta .....	52
6.3.	Fabricación .....	58
Cap. 3 Registro y análisis de suministradores .....		69
1.	Introducción .....	69
2.	Registros en herramientas tipo .....	69
2.1	Introducción BB.DD. y ERP .....	69
2.2	Registros en las herramientas .....	70
2.3	Consultas e informes .....	73
3.	Análisis de suministradores .....	75
3.1	Estadística y evaluación de indicadores. ....	75
3.2	Seguimiento y control del proceso. ....	76
3.3	Reclamación a proveedores / de clientes.....	78
Cap. 4 Planificación y presupuesto .....		80
Cap. 5 Conclusiones.....		86
Bibliografía y anexos .....		88
Bibliografía .....		88
Anexo .....		90
1.	Equipos de CATEGORÍA I y II.....	90
2.	Equipos de CATEGORÍA III .....	90

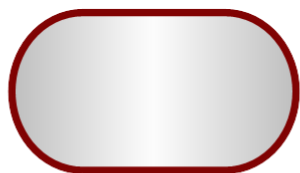
## *Lista de ilustraciones*

Ilustración 1. Diagrama de la Calidad Total .....	10
Ilustración 2. Dimensiones transformador de potencia.....	13
Ilustración 3. Esquema distribución energía eléctrica .....	14
Ilustración 4 Aseguramiento de la Calidad .....	15
Ilustración 5. Certificado AENOR .....	16
Ilustración 6. Aspectos de un proyecto .....	16
Ilustración 7. Definición de proyecto. ....	17
Ilustración 8. Objetivos proyecto .....	17
Ilustración 9. Etapas de proyecto .....	20
Ilustración 10. Estructura de Desagregación del Trabajo de una subestación .....	21
Ilustración 11. Organigrama de proyecto.....	21
Ilustración 12. Fases diagrama de calidad .....	25
Ilustración 13. Tabla categorías equipos subestación.....	29
Ilustración 14. Diagrama fase I: Oferta.....	32
Ilustración 15. Esquema de la documentación oferta.....	34
Ilustración 16. Diagrama subproceso: homologación .....	39
Ilustración 17. Diagrama fase II: fabricación .....	41
Ilustración 18. Esquema de la documentación fabricación .....	43
Ilustración 19. Diagrama fase III: autorización de envío .....	45
Ilustración 20. Autorización de envío .....	46
Ilustración 21. Representación transformador trifásico .....	47
Ilustración 22 Núcleo acorazado .....	49
Ilustración 23. Arrollamientos y Cambiador de Tomas de Carga (CTC) .....	50
Ilustración 24. Depósito de expansión de aceite en la parte superior izquierda.....	51
Ilustración 25. Placa de características transformador trifásico. ....	51
Ilustración 26. Proceso de fabricación de un transformador de potencia.....	59
Ilustración 27. Transformador en el horno para el proceso de secado. ....	60
Ilustración 28. Tabla de datos. ....	61

---

Ilustración 29. Datos obtenidos del ensayo de la medida de los arrollamientos. ....	61
Ilustración 30. Representación de las resistencias frente a las tomas de carga .....	62
Ilustración 31. Tabla de datos del ensayo de vacío.....	62
Ilustración 32. Resultados obtenidos del ensayo de vacío.....	63
Ilustración 33. Tensión eficaz en función de las pérdidas corregidas. ....	64
Ilustración 34. Tensión en función de la dispersión de la intensidad. ....	64
Ilustración 35. Tabla de datos de la norma UNE-EN 60076-3 .....	65
Ilustración 36. Gráfico de impulso tipo rayo (sin escala- izquierda). Test en fábrica (derecha).....	66
Ilustración 37. Transformador durante el ensayo de calentamiento (izda.) y su imagen térmica (dcha.).....	66
Ilustración 38. Detalle de los aislamientos cerámicos del transformador (izda. ) y su imagen térmica (dcha.).....	67
Ilustración 39. Diagrama de procesos para el aseguramiento de la Calidad .....	68
Ilustración 40. Estructura modular ERP.....	70
Ilustración 41. Pantalla acceso a SAP ® .....	72
Ilustración 42. Estado de homologación suministrador.....	72
Ilustración 43. Tapón de vaciado total del transformador.....	73
Ilustración 44 Detalle de fuga de aceite. ....	74
Ilustración 45. Detalle de notas por factura en SAP.....	77
Ilustración 46. Representa el % de servicios que motivan reclamaciones.....	79
Ilustración 47. Planificación Subestación eléctrica .....	80
Ilustración 48. Planificación Transformador de Potencia. ....	81
Ilustración 49. Clasificación de los costes.....	82
Ilustración 50. Tabla presupuesto fabricante conocido .....	84
Ilustración 51. Tabla presupuesto fabricante desconocido .....	85

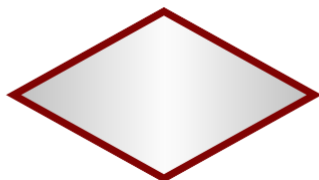
## *Simbología*



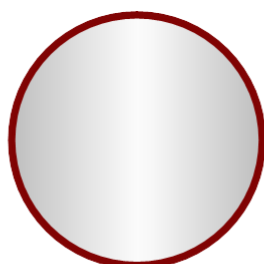
INICIO/FIN



DATOS EXTERNOS



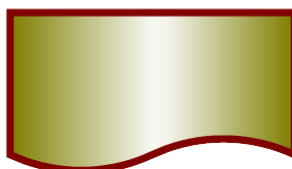
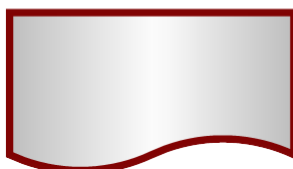
BIFURCACIÓN



PROCESO



TAREA



CREAR DOCUMENTO

Los símbolos que aparecen de color dorado son llevados a cabo por el personal del Departamento de Calidad.

---

## Resumen

---

La realización de este Trabajo Fin de Grado (TFG) tiene como objetivo principal obtener un diagrama de procesos que sirva para asegurar la calidad de los equipos eléctricos. Se realiza una aplicación específica al equipo más complejo e importante de una subestación eléctrica: el transformador de potencia.

Este objetivo empieza por introducir, en el primer capítulo, el porqué de la importancia de la calidad en la actualidad, a través de un breve repaso a lo largo de la historia del concepto de calidad. Este trabajo se enmarca en un contexto de proyecto, del cual se definen las cinco etapas en las que está dividido, y se proporcionan algunas herramientas específicas para su desarrollo. Su alcance está enfocado desde la calidad de los suministros, y va dirigido principalmente a empresas de diseño y ejecución de proyectos con necesidad de adquisición de suministros.

En el segundo capítulo se desarrolla el diagrama de procesos, situado en la fase de control y seguimiento, la tercera etapa de proyecto, de las cinco en las que se fragmenta. Esta, a su vez, se divide en otras tres fases: oferta, fabricación y autorización de envío. Cada una de estas últimas fases contiene una descripción representada en un diagrama propio, además de explicar el contenido mínimo que debe tener la documentación que se utiliza en cada fase, y se elabora algún ejemplo concreto. Se desarrolla una estandarización de los procedimientos, guías y especificaciones de calidad de vital importancia para agilizar el proceso de aseguramiento.

Finaliza con la aplicación al equipo eléctrico del transformador de potencia. Se describe técnicamente el funcionamiento y los esfuerzos que sufre el equipo: los eléctricos, mecánicos, etc. Y se hace una descripción visual de los componentes que constituyen el transformador. Más adelante se desarrolla la documentación específica de este equipo para asegurar su calidad, de nuevo se elaboran ejemplos de documentos específicos. Termina con el detalle de algunos de los ensayos que se realizan en fábrica a estos equipos.

El tercer capítulo integra el registro y análisis de los suministradores. Se presentan las dos herramientas tipo: sistema de planificación y base de datos, además de determinar qué hacer con toda la información archivada tal como la definición de indicadores, seguimiento a los suministradores, reclamaciones, etc.

La planificación del aseguramiento de la calidad de un transformador de potencia, se determina en el cuarto capítulo, además de una comparación de costes entre dos suministradores de contextos diferentes, que quiere mostrar los costes de no dar importancia a los controles de calidad, desconocidos en muchas ocasiones aún en el mundo actual.

El trabajo finaliza con una serie de conclusiones y posibles líneas futuras de mejora para seguir en la mejora continua que se pretende conseguir en las empresas.

---

## ***Abstract***

---

The completion of this Bachelor Thesis has as main objective to obtain a process diagram that serves to ensure the quality of electrical equipment. A specific application to the most complex and important of an electrical substation equipment is done: The power transformer.

This goal begins by introducing, in the first chapter, the reason for the importance of quality today, through a brief overview over the history of the concept of quality. This work is framed in the context of a project, of which the five stages in which it is divided are defined, and several specific tools for their development are provided. Its scope is focused from the quality of the supplies, and is primarily aimed at companies design and implementation of projects in need of procuring supplies.

In the second chapter the process diagram, located on the control and monitoring phase, the third phase of the project, divided in five fragments. This, in addition, is divided into three further phases: supply, manufacturing and shipping authorization. Each of these latter phases contains a description displayed in its own chart, in addition to explaining the minimum content must have documentation that is used in each stage, and a particular example is made.

Standardization of procedures, guidelines and quality specifications vital is developed to streamline the underwriting process.

Ends with the application to the electrical equipment of the power transformer. Operation and the efforts that the equipment suffers are technically described: electrical, mechanical, etc. And a visual description of the components comprising the transformer is made. Later, the documentation for this equipment is developed to ensure quality and new examples of specific documents are prepared. It ends with the detail of some of the tests carried out at the factory to these equipments.

The third chapter integrates the recording and analysis of suppliers. The two type tools are presented: the planning system and database, as well as determining what to do with all the information stored as defining indicators, monitoring suppliers, claims, etc.

Planning for quality assurance of a power transformer is determined in the fourth chapter, in addition to a cost comparison between two different contexts suppliers, which wants to show the costs of not giving importance to quality control, unknown in often yet nowadays.

The paper ends with some conclusions and possible future directions for further improvement on continuous improvement to be achieved in business.



---

## *Agradecimientos*

---

Para mí este trabajo marca el final de una gran etapa. En el inicio piensas que nunca va a terminar, pero todo llega y este solo es el colofón final de lo que representa uno años de esfuerzo y sacrificio que han merecido la pena en la Universidad Carlos III de Madrid.

Debo dar las gracias a mis padres, que han estado desde el principio apoyándome para no desistir en el intento y siempre seguir adelante por muchas veces que fallara.

A mi hermana que me ha enseñado a esforzarme y me ha demostrado que así se consiguen muchas cosas.

A todos mis amigos por estar ahí siempre, por esos días de biblioteca interminables y por esos ratos de risas y sonrisas que han servido para desahogarnos en los peores momentos.

Muchas gracias a mis tutores, Javier y Mauricio, y en especial a Victoria y Susana por todo el apoyo recibido. Y terminar agradeciendo a Iberdrola Ingeniería y Construcción, la oportunidad que me ha dado de realizar prácticas de formación con ellos.

Por último, no tengo palabras para describir todo lo que me ha apoyado Adri. Sin él no hubiera sido posible conseguir todo esto. Te quiero.

## **Cap. 1. Planteamiento del problema**

### **1. Introducción**

Desde las primeras civilizaciones se puede apreciar la preocupación de los hombres por el trabajo bien hecho y la necesidad de atender algunas reglas y asumir responsabilidades.

El código de Hammurabi (Rey de Babilonia de 1792-1750 a.c.) incluye la Ley del Tali3n donde hab3a una regla que dec3a *“si un constructor construye una casa y no lo hace con buena resistencia y la casa se derrumba y mata a los ocupantes, el constructor debe ser ejecutado”* ten3an en cuenta el concepto m3s b3sico de calidad y estaba asociado al prestigio. En la 3poca de los fenicios cortaban la mano a la persona responsable de una mala calidad. Su objetivo era eliminar la repetici3n de errores.

Hacia el siglo XII toda la responsabilidad reca3a sobre la misma persona, el artesano, el mismo que produc3a ten3a que inspeccionar su producto para mantener una reputaci3n. Surgen los primeros gremios artesanales y corporaciones municipales que establecen una serie de reglamentos y legislaciones que vienen a normalizar y fijar una calidad en sus productos.

La exportaci3n a otras ciudades se hac3a bajo un estricto control y se populariz3 la marca que era el apellido que se le pon3a a los productos, que normalmente coincid3a con su ciudad de origen.

El esp3ritu altamente profesional empieza a disminuir en el siglo XVIII debido a los continuos conflictos sociales que llevan a la consolidaci3n en el siglo XIX de la Revoluci3n Industrial. Las f3bricas se masifican, y se llega a la especializaci3n del trabajo. Cada una tiene especial inter3s en un producto concreto, y surge la necesidad de establecer una divisi3n de trabajo.

Todos estos factores, a3adidos al af3n de mejorar la calidad de los procesos, hacen que los controles sean una parte vital de la producci3n. Es realizado por un supervisor, posterior a los operarios en la cadena de fabricaci3n, que comprueba que lo que se ha hecho est3 realizado conforme a las “especificaciones” (transmitidas de forma oral) que ya empiezan a existir.

En el siglo XX aparece el concepto de calidad como se conoce en la actualidad. Frederick W. Taylor desarroll3 su teor3a sobre la Medici3n del Trabajo que separa la planificaci3n de la ejecuci3n y aport3 rigor a la gesti3n de las organizaciones.

Su idea era descomponer el trabajo en actividades elementales lo que permitió a las empresas contratar a gente sin cualificación. Los departamentos de control de calidad de las empresas se encargaban de verificar el producto una vez fabricado por los operarios.

El período que transcurre entre las dos guerras mundiales aumenta el riesgo de defectos en los productos debido a la poca cualificación de la mano de obra y la necesidad de fabricar en grandes cantidades. En este contexto aparecen los inspectores, ya claramente diferenciados de la mano de obra directa. Se inspecciona el 100 % de los productos, excepto en las fábricas donde se hacen muestreos. Se produce un gran avance recogiendo las Especificaciones de Calidad por escrito.

El segundo gran hito de este siglo fue “la línea de montaje” de Henry Ford. Este sistema requería que las piezas utilizadas en la línea fueran intercambiables, por lo que tenían que cumplir unos requisitos mínimos. Introdujo las tolerancias que las piezas deberían de tener para garantizar su montaje. La ilustración 1 recoge la evolución del concepto de Calidad Total, como se verá a lo largo de esta introducción.

Hacia 1940 se introduce la estadística (planes de muestreo) al campo del control de la calidad (W. Shewhart) reduciendo los costes al evitar controlar el 100% de las piezas.

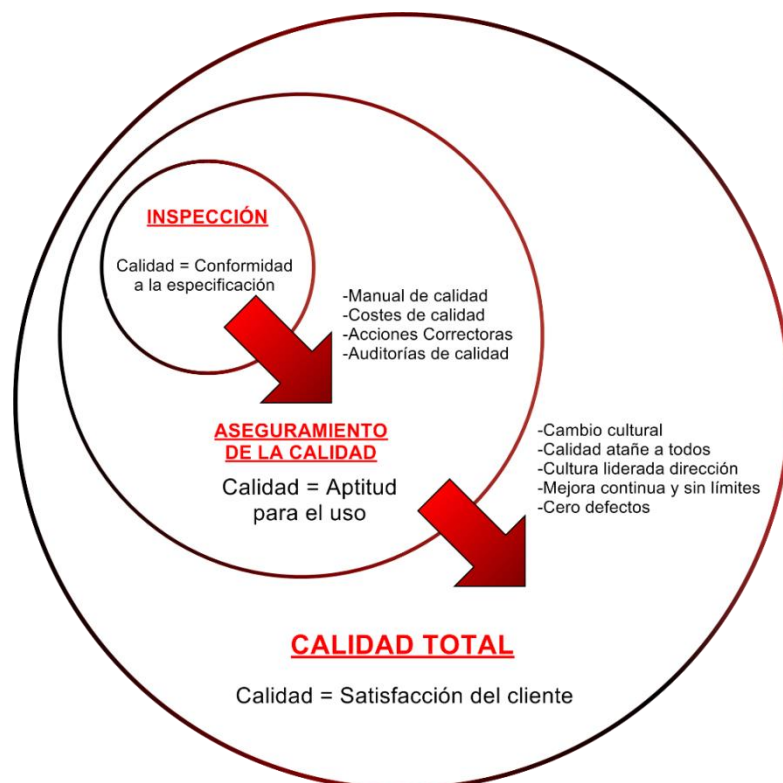


Ilustración 1. Diagrama de la Calidad Total

En la II Guerra Mundial los fabricantes tienen la necesidad de mejorar la calidad de sus productos, sobre todo los bélicos, para evitar los enormes costes producidos durante la I Guerra Mundial. También, el ejército norteamericano publica sus requisitos y especificaciones en forma de normativa: Military Standard.

Después de la II Guerra Mundial se desarrollan las técnicas de fiabilidad. Además de que los productos sean buenos inicialmente se necesita prever su vida útil y que proporcionen las prestaciones establecidas durante ese período.

De este modo se asocia la calidad, en términos de fiabilidad al número de fallos del producto o al tiempo de prestación sin fallos. Esto junto con el avance de los sectores Nuclear, Aeronáutico y Defensa, hace necesario asegurar que el producto satisface los requisitos dados sobre la calidad y se desarrolla el concepto del Aseguramiento de la Calidad.

Aparece la primera definición oficial conocida de Calidad: “Aptitudes para el uso” o “Adecuación al uso” y se elaboran unas Normas Técnicas que clarifiquen y regulen las especificaciones a cumplir, incluyendo prestaciones o funcionalidad.

A partir de los años 60 se produce un distanciamiento entre Occidente y Japón, en la aplicación de la calidad en la empresa: en Occidente se centran en el aseguramiento y en utilizar especialistas en calidad, ellos son los que saben. Las empresas crean departamentos de “Ingeniería de Calidad”, “Ingeniería de la Fiabilidad” o “Ingeniería de Procesos” donde se da gran importancia a la prevención: es más barato prever los fallos que corregirlos.

Ligadas al concepto de aseguramiento aparecen nuevas herramientas como las auditorías de calidad para garantizar el cumplimiento de las normas, el manual de calidad para que las empresas establezcan la forma de efectuar los trabajos y ajustarse a las normas, el control de proceso, en lugar del producto donde tratan de conocer el modelo de la variación de las características y asegurar que se mantiene bajo control.

Se transforma el Control de la Calidad en Gestión de la Calidad con fuerte incidencia en la política general y en la organización de la empresa. Por último aparece lo que Juran llama el “consumismo”, representa el movimiento de los consumidores que tratan de proteger a los clientes frente a las empresas, fabricantes y vendedoras.

Paralelamente en Japón se desarrolla el concepto de calidad desde un enfoque más humano: calidad es cosa de todos. Significa la participación y el compromiso de cada uno de los integrantes de la empresa, sea cual sea su puesto de trabajo y actividad. Se promueve la formación masiva en técnicas estadísticas como herramienta imprescindible para el conocimiento y obtención de la calidad.

Coinciden con occidente en hacer énfasis en la prevención: hay que hacer las cosas bien a la primera. Por último tienen una fijación permanente de objetivos de mejora de la calidad que darán lugar a técnicas como el Kaizen, Kanban, Just in Time... Por primera vez aparecen conceptos y técnicas que el sector servicios (no solamente los fabricantes de productos) puede aplicar en su Gestión de la Calidad.

En los años 80, Occidente se acerca a Japón e incorpora el elemento humano a la calidad. Se producen cambios como la globalización de la oferta, que es muy superior en estos momentos a la demanda, casi todos los negocios incorporan un servicio en su producto, es decir, no solo ofrecen un bien, sino que ese bien siempre va acompañado de un servicio. Por ejemplo, si venden un ratón de ordenador (bien) lleva acompañado un servicio posventa (servicio). Lo más relevante es el alto nivel de calidad que ofrecen los productos japoneses que hace que los occidentales vean en Japón un modelo a copiar.

Ambos han seguido un ritmo de mejora de la calidad de sus productos muy diferente, mientras que la trayectoria de Occidente ha sido evolutiva, la de Japón se puede considerar revolucionaria por varios motivos:

- Adoptaron programas formales y estructurados de mejora anual de la calidad.
- La alta dirección de sus empresas siempre ha liderado los programas propuestos, lo cual hacía que el resto de empleados se implicaran.
- Siempre se ha dado prioridad a la calidad por encima de la productividad.

A lo largo de la historia, el concepto de calidad sigue una evolución desde la inspección, pasando por el aseguramiento, hasta llegar a la gestión de la calidad. Actualmente el concepto evoluciona hacia un nuevo término, aún en desarrollo, denominado Calidad Total.

## **2. Motivación**

¿Por qué asegurar la calidad? Se puede decir que el mundo actual es un mundo globalizado, sin fronteras, en el que la tendencia de las empresas es expandirse por diferentes países, sean de un continente u otro. Cada día hay más competencia, el precio no es el único factor determinante y la fiabilidad de los suministros es fundamental para tener un lugar en el mercado. Si se desea acercar posiciones y tener un producto sobresaliente hay que mejorar la calidad del mismo porque será lo que diferencie a unas compañías y otras en el mercado actual. Se puede decir que la calidad es un factor estratégico imprescindible.

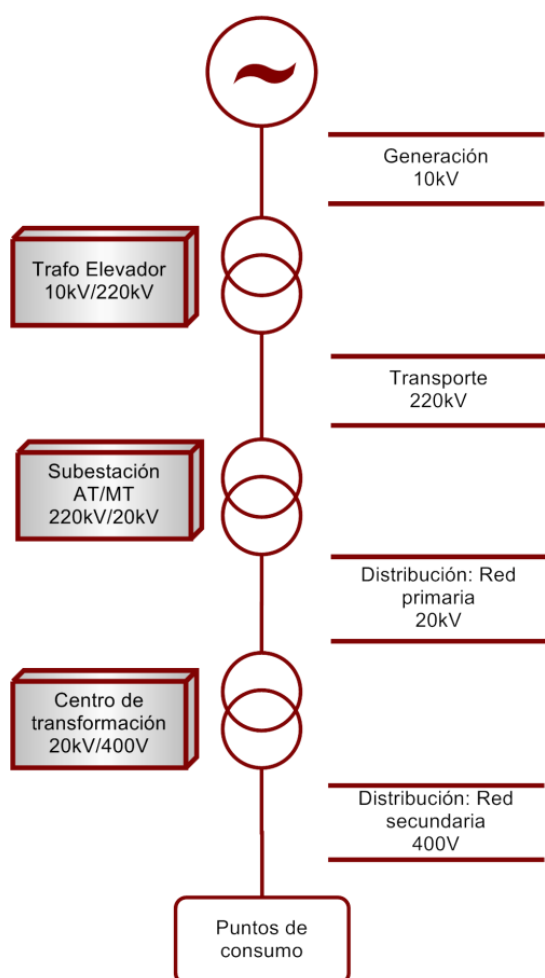
Una empresa líder en un mercado, es aquella que está en continua mejora, porque se puede llegar a ser número uno, pero lo importante y más difícil es mantener la confianza de los clientes. El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) pretende diseñar un diagrama de procesos para el aseguramiento de la Calidad en la adquisición de equipos eléctricos. Se explicará con más detalle en el capítulo 2.

El **transformador de potencia** es el equipo más complejo y necesario para el transporte y distribución de la energía eléctrica, como se verá explícitamente en el punto 2.6. Su cometido es convertir la energía eléctrica de un nivel de tensión a otro aumentando escalonadamente tensiones para minimizar las pérdidas de transmisión, es decir, en el transporte de la energía o reduciendo tensiones para distribuir en media tensión. Forman parte de los activos más importantes de una compañía eléctrica, ya que supone una gran inversión.



**Ilustración 2. Dimensiones transformador de potencia**

Es el equipo más importante en una subestación eléctrica, la instalación que se encarga de realizar estas transformaciones, como se muestra en el ejemplo de la ilustración 3. Sus dimensiones pueden llegar a ser impresionantes, como se ve en la ilustración 2. Y no sólo es que sean grandes, sino que la complejidad de estos equipos y el elevado número de componentes auxiliares que los constituyen hace especialmente complicado el aseguramiento de la calidad a lo largo del proceso de especificación y adquisición de estos equipos, y de aquí la relevancia de este trabajo.



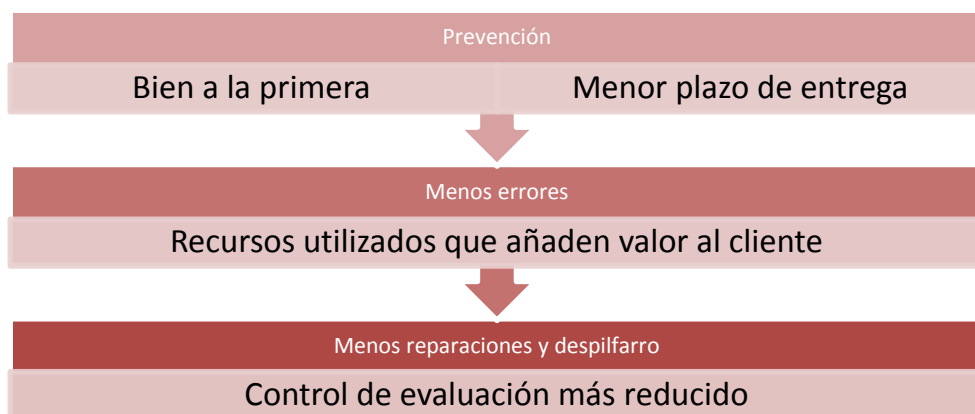
**Ilustración 3. Esquema distribución energía eléctrica**

Cualquier empresa dedicada al diseño y ejecución de proyectos de ingeniería que compre equipos debe garantizar que está cumpliendo con los requisitos normativos, además de tener en cuenta los requeridos por el cliente, y sobre todo estandarizar sus procesos con la elaboración de sus propios procedimientos y/o especificaciones, que se explicarán en el punto 2 del siguiente capítulo. De esa manera, podrá mantenerse líder del mercado y destacar por encima de otras. Además, con un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) robusto se consigue la confianza y fidelidad de los clientes.

En la actualidad se quieren reducir los problemas de fallos en los equipos, lo que se traduce en una reducción de costes. Dentro del SGC se encuentra el aseguramiento de la Calidad, como se explicará más adelante, que contiene las herramientas necesarias para poder llevar a cabo esta propuesta. Una de las herramientas más importantes son las inspecciones. A través de ellas se podrán prever y encontrar numerosos fallos en fábrica que no llegarán a obra.

Las consecuencias de no asegurar la calidad de los equipos son múltiples, además de importantes. Si se considera desde el punto de vista de proyecto, los retrasos que se pueden producir en el plazo de entrega del mismo por falta de un equipo, por ejemplo, el transformador de potencia que tarda de cuatro a seis meses en fabricarse, además de su transporte, puede conllevar penalizaciones o reclamaciones del cliente, y lo que es peor daña la imagen y reputación de la empresa afectada para futuras adjudicaciones.

Si se instala un equipo sin inspeccionar y se producen fallos en planta, provocará el paro inmediato de la misma: se perderá dinero por la pérdida parcial o total de rendimiento de la instalación (se ha dejado de producir) y además se puede incumplir el contrato en el que se pide un rendimiento continuo de un porcentaje concreto lo que de nuevo trae penalizaciones.



**Ilustración 4 Aseguramiento de la Calidad**

Además de las inspecciones, para mejorar la competitividad se ha evolucionado mucho en técnicas de prevención y evaluación. Por ejemplo con la automatización de las máquinas que paren la planta de fabricación de una pieza si lo consideran necesario y no producir todas arrastrando el mismo error. Si se reduce los fallos y el coste de los mismos se puede utilizar más recursos en elementos que añadan valor al cliente.

En el esquema de la ilustración 4 se puede ver el proceso de asegurar la calidad, que será definido en el apartado 4 de este capítulo.

### 3. Contexto y alcance

Este Trabajo Fin de Grado se desarrolla en el contexto de un proyecto. Se enfoca desde la calidad de suministros y está dirigido principalmente a empresas de diseño y ejecución de proyectos de ingeniería o que formen parte de éstos en alguna de sus etapas.

Los proyectos en general pueden abarcar distintas áreas, presupuestos, etc. Para este trabajo serán necesarios proyectos de ingeniería en los que sea preciso la adquisición de suministros, en concreto, de equipos eléctricos, aunque no está orientada para grandes pedidos de compra (muchas unidades), sino más bien unitarios. Por ejemplo, se pueden encontrar grandes empresas energéticas, eléctricas, ingenierías o pymes de pequeña envergadura que puedan construir parte de una subestación eléctrica.

Deben tener implantado un Sistema de Gestión de Calidad, a ser posible certificado por un organismo certificador (por ejemplo AENOR cuyo modelo de certificado puede verse en la ilustración 5, Lloyd's...). Esta certificación tendrá el alcance específico de los sectores de actividad realizados en dicha empresa.



El Sistema de Gestión de Calidad es una estructura operacional y organizada de trabajo, bien documentada e integrada en los procedimientos de la empresa, para lograr la satisfacción del cliente y los resultados deseados por la organización.

A continuación, se definen explícitamente las fases de un proyecto y, en detalle, algunas herramientas específicas desarrolladas para un proyecto de una subestación eléctrica, de tal forma que las empresas puedan hacer uso de la etapa que necesiten y de las herramientas oportunas. Antes es necesario introducir algunos conceptos que forman parte de un proyecto y por tanto, implícitamente de este trabajo, que servirán de ayuda como ejemplos prácticos.

Según la norma UNE-EN ISO 9000:2005, *un proyecto es un proceso único consistente en un conjunto de actividades coordinadas y controladas con fechas de inicio y finalización, llevadas a cabo para lograr un objetivo conforme con requisitos específicos, incluyendo las limitaciones de tiempo, coste y recursos*. Otra definición dada a proyecto es la que se puede ver en la ilustración 7 de la siguiente página.

Y de nuevo, según dicha norma, *un proceso es un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados*.



Ilustración 5. Certificado AENOR

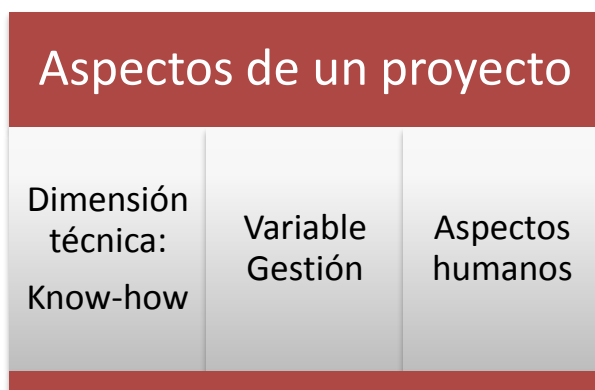


Ilustración 6. Aspectos de un proyecto

En los proyectos no hay que olvidar la ilustración 6 que enumera los aspectos que son parte fundamental en la etapa de concepción. El know-how es el que más destaca, dado que será exclusivo y marcará la diferencia de una empresa a otra, junto con los aspectos humanos que caracteriza la personalidad de la misma. La gestión es el más secundario, aunque también importante.



**Ilustración 7. Definición de proyecto.**

Dar una clasificación para los tipos de proyectos existentes hoy en día es algo complicado, porque no es única. Se pueden clasificar según los objetivos económicos, según el producto... Se pueden visualizar las tres metas diferenciadas de un proyecto en la ilustración 8:



- Cumplir requisitos: resultado.
- Realizarlo dentro de un coste presupuestado.
- Terminarlo en un plazo de tiempo prefijado.
- Representa el **equilibrio**. Si modifico un vértice afecta al resto, debo optimizar recursos.

**Ilustración 8. Objetivos proyecto**

En general cualquier tipo de proyecto pasa por 5 etapas claves, que se pueden ver en la ilustración 9, al final de la explicación, son aquellas en las que se fragmenta el **ciclo de vida** de un proyecto que se denominan inicio, desarrollo y fin:

- Concepción: está dentro de la etapa de inicio del proyecto. Es un período de preguntas acerca de las necesidades que se pueden tener. Se trata de obtener una autorización formal para comenzar, para la que se necesitan permisos y licencias, por ejemplo del terreno en el que se quiere construir o de accesos a instalaciones. La empresa debe tener la documentación con las necesidades o requisitos del negocio para saber qué se pide y definir un alcance.

Especificar las viabilidades técnicas y económicas que existen para realizar un borrador del presupuesto es otro punto importante. Analizar las formas de cubrir necesidades, en el caso de que fuese necesario, para evaluar si es posible. Como resultado se tiene que realizar una primera planificación y programación del proyecto.

- Lanzamiento: esta segunda etapa cierra el inicio del proyecto, ya que se define íntegramente. Se obtienen las respuestas a la etapa anterior, definiendo el alcance completo del mismo y se decide plasmarlo en documentos. Se deben tener claros los requisitos que ha exigido el cliente en el contrato, los llamados requisitos contractuales, ya que son necesarios en el proyecto y por tanto conllevan un coste a tener en cuenta.

Se deben identificar los posibles riesgos que se pueden dar en el proyecto. Lo más importante en este período es la **planificación y programación**, aunque aún se trabaje con algunas estimaciones. Se valorará si es necesario subcontratar parte de las actividades que se piden, siempre teniendo en cuenta las indicaciones que haya dado el cliente. Tener en cuenta:

- Elaboración de desglose de trabajos: identificación y descomposición del proyecto en tareas. (herramienta Estructura Desagregación de Trabajo (EDT), que se explica más adelante.)
- Estimación de la duración y de los recursos: organización del equipo, indicando sus funciones y responsabilidades (humanos y materiales).
- Las tareas deben ejecutarse mediante una red lógica que es representada por restricciones.
- Programación: se utilizará la herramienta gráfica diagrama de Gantt. Se distribuyen en el tiempo las tareas y se identifican los hitos de control.

- Control y seguimiento: esta etapa se sitúa en el desarrollo del proyecto, y es en la que se llevarán a cabo las actividades y los hitos establecidos en la planificación y

programación: diseño, ingeniería y construcción. Si es necesario se debe revisar la organización en detalle y la planificación. Desde el punto de vista técnico, es la fase donde se realiza mayor esfuerzo económico y se produce la mayoría de la documentación técnica asociada. Además es importante realizar controles de alcance, de comunicación (reuniones, informes...) la información relevante debe quedar plasmada por escrito y registrada, controles de planificación o económicos.

La ingeniería puede ser:

- Ingeniería básica: desarrolla los conceptos básicos o de alto nivel del proyecto, a nivel técnico.
- Ingeniería de detalle: desarrolla la ingeniería básica y preparativos para la construcción. Se elaboran los procedimientos y especificaciones que sean necesarios, así como los planos de detalle de las instalaciones o equipos que se deseen construir o instalar. También se procede a la compra de los equipos. En este punto se desarrollará el primer objetivo de este TFG.

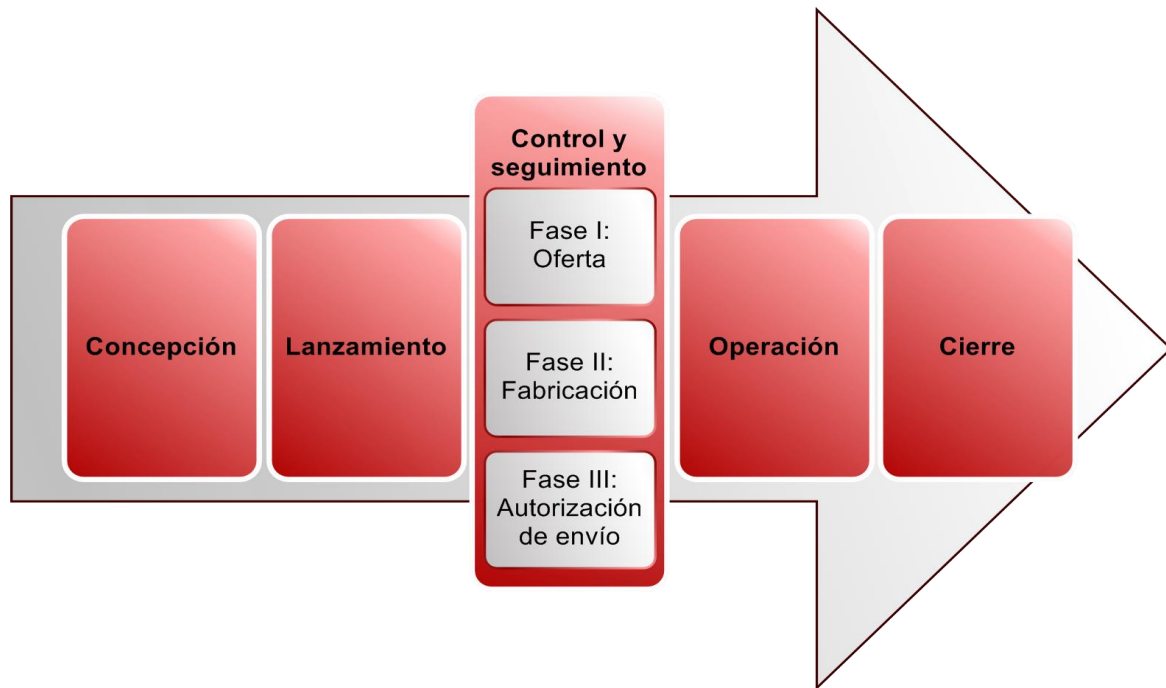
Por último se lleva a cabo la construcción y puesta en marcha (PEM): se preparan los terrenos, la obra civil, y se procede al montaje mecánico, eléctrico y de instrumentación. Finaliza con la puesta en marcha de la instalación.

- Operación: esta etapa inicia la finalización del proyecto. Se trata de poner la instalación a disposición del cliente y observar el funcionamiento de la misma para identificar problemas si los hubiese. Se deben:

- Adoptar acciones correctivas, que corrijan el problema de raíz, de los problemas identificados.
- Integrar con otros sistemas o con los resultados de otros proyectos si es posible.
- Realizar la evaluación de eficiencia técnica y económica en condiciones de operación.
- Se puede llevar a cabo una toma de datos de control que junto con la evaluación anterior pueden servir para mejoras futuras en la instalación.

- Cierre: esta etapa acaba el proyecto. Es una etapa de transferencia, o cierre. Se deben finalizar formalmente cada una de las acciones dispuestas para las tareas del mismo y entregar el producto terminado. Se debe asegurar que todas las acciones correctivas han sido documentadas y terminadas, transferir los recursos, comprobar que el alcance contractual ha sido completado. Es conveniente registrar información que se pueda aprovechar en otros proyectos futuros.

A continuación se representan las etapas de un proyecto en la ilustración 9, como se adelantó:



**Ilustración 9. Etapas de proyecto**

Algunas de las herramientas utilizadas durante la fase de lanzamiento son:

Estructura de Desagregación del Trabajo (EDT), define y organiza el alcance contractual, que es aquel que se ha definido en el contrato o se ha descrito en la oferta del proyecto. Se trata de la desagregación del alcance a ejecutar, subdividir una tarea complicada en tareas más pequeñas hasta llegar a un nivel en el que ya no se pueda o no interese ser subdividido. Entonces se define cuánto durará y costará cada una de esas pequeñas tareas. Se puede ver un ejemplo en la ilustración 10:

Se debe hacer previamente a cualquier programa o presupuesto del proyecto, puesto que hasta que no se define lo que hay no se puede estimar lo que va a costar y el tiempo necesario para su ejecución. Este principio es tan sencillo como poco frecuente de aplicar, lo que conlleva en ocasiones numerosas incidencias durante la fase de control y seguimiento del proyecto.

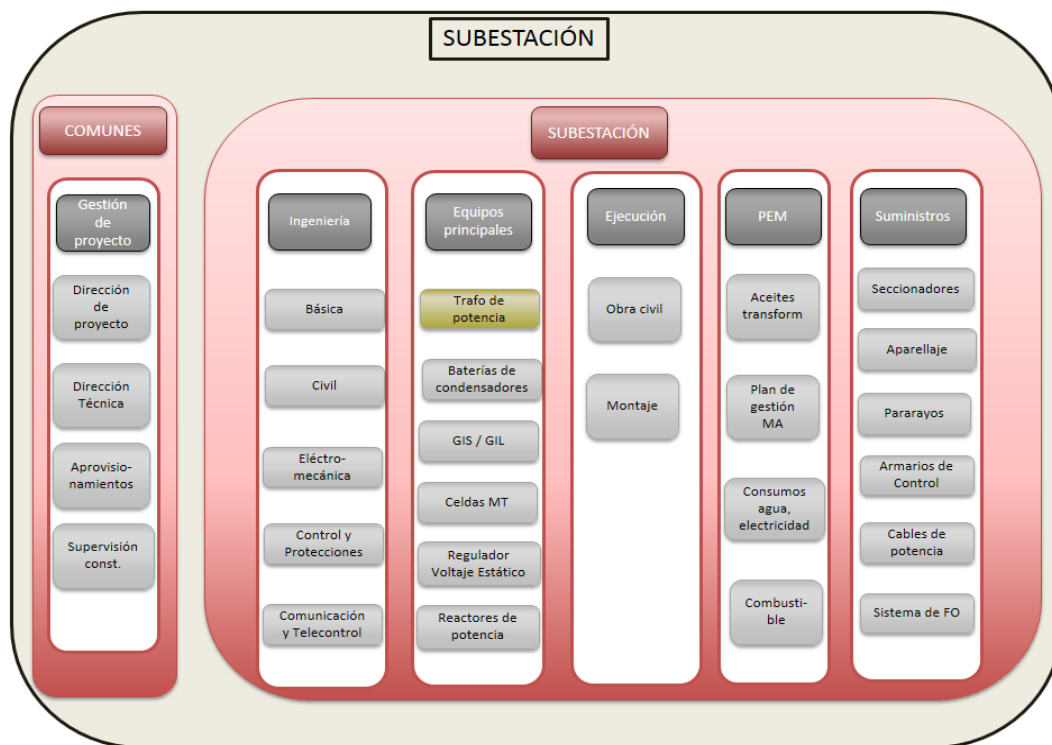


Ilustración 10. Estructura de Desagregación del Trabajo de una subestación

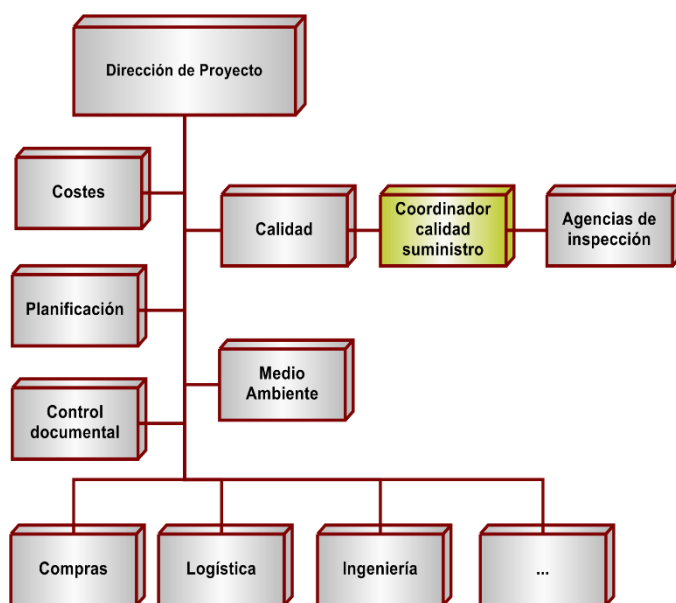


Ilustración 11. Organigrama de proyecto

Otra herramienta utilizada son los organigramas, en los que se definen los departamentos participantes en el proyecto, o personas responsables, según convenga se elaboran de una manera u otra. En este caso, en la ilustración 11, aparece marcado el coordinador de calidad de suministro, será el rol que desarrolle la persona que se encargue del aseguramiento de la Calidad de los equipos eléctricos:

---

## 4. Objetivos y estructura

Para el desarrollo de este TFG se han definido tres objetivos:

### 1. Estudio y elaboración del diagrama de procesos para el aseguramiento de la Calidad de equipos eléctricos. Aplicación a un equipo complejo: Transformador de potencia.

El alcance de este primer objetivo se basa en que cualquier empresa que obtenga este trabajo sea capaz de adquirir un equipo eléctrico cumpliendo todos los requisitos del cliente, internos y normativos posibles y además garantizar el aseguramiento de las prestaciones contratadas. En concreto, se especificará para un transformador de potencia, ya que es un equipo principal y crítico en la mayoría de los proyectos en los que se necesita. Es el equipo más caro de una subestación eléctrica como ya se ha explicado.

Además debido a la creciente demanda de la energía eléctrica debe ser un suministro fiable, ya que es el que proporciona el servicio, por lo que se necesita garantizar su calidad.

Se entiende como calidad la conformidad del producto o servicio prestado con los requerimientos establecidos.

Por otro lado, el aseguramiento de la calidad consiste en la actividad sistemática y documentada que tiende a garantizar que los productos-procesos-servicios se realizan de una forma controlada y de acuerdo a las especificaciones, normas y procedimientos aplicables. La calidad toma una orientación más global hacia el control del sistema productivo.

Una vez definidos todos los requisitos, se especificará la documentación necesaria así como las responsabilidades de elaboración, revisión y entrega. Se realizará una estandarización de guías, procedimientos y especificaciones. El producto final queda representado en un **diagrama** en el que quede todo perfectamente definido con la secuencia de actividades.

### 2. Descripción técnica y visual del transformador de potencia. Planificación y presupuesto de la inspección del equipo.

Este segundo objetivo engloba, dentro de la aplicación concreta la parte referida al funcionamiento y esfuerzos que sufre el equipo. Se trata de describir el funcionamiento técnico así como analizar la complejidad que tiene.

Para comprobar que el transformador está preparado para sufrir los diferentes esfuerzos a los que está sometido se utilizan diferentes ensayos: de rutina o individuales, tipo o especiales.

Los ensayos de rutina o individuales son aquellos que se realizan sobre cada equipo. Estos resultados se reflejan en el “Protocolo de Pruebas” un documento que es único e intransferible para cada transformador.

Los ensayos tipo se realizan sobre un transformador que es representativo de otros transformadores. Y los especiales son aquellos que se realizan por petición propia del cliente diferente a un ensayo tipo o individual.

También se va a realizar el diseño de una planificación para el aseguramiento de la calidad de un transformador de potencia, así como el presupuesto de la misma comparado entre dos suministradores de diferentes características.

### **3. Registros y análisis de los suministradores (BB.DD – ERP). Indicadores y posibles mejoras.**

Por último, el tercer objetivo consiste en registrar a los suministradores para establecer un control y seguimiento de los mismos como exige la norma ISO 9001. Se utilizarán dos herramientas: el sistema de planificación de recursos empresariales, comúnmente denominado con sus siglas en inglés ERP (Enterprise resource planning), del que la empresa disponga y también una Base de Datos (BB.DD.) para incluir los incidentes sucedidos con el suministrador y poder analizarlos.

El ERP ofrece el estado de todos los suministradores a la empresa completa. De tal forma que se puede saber para qué suministros se ha registrado a cada proveedor y si han sucedido incidencias con ellos, que se detallan más en la BB.DD. Se definirá un ERP tipo con los campos más comunes y necesarios.

Se introducirá una BB.DD. tipo indicando los campos mínimos que se deben tener. Esta herramienta se utiliza para guardar y documentar las incidencias para posteriores suministros y no repetir los mismos errores. Además de poder hacer un seguimiento a la evolución de las incidencias que sucedan con los diferentes suministros.

Se definirán unos indicadores que permitan medir y comparar de forma sencilla los resultados de prestación de los suministradores, siempre de acuerdo a la norma ISO 9001 que establece en el punto 8: la medición, el análisis y la mejora. Para terminar, se obtendrán unas conclusiones de mejora a la vista de los resultados.



Este TFG se dividirá en capítulos para abordar los diferentes objetivos. En el presente capítulo se ha introducido el contexto histórico y la evolución que ha tenido el concepto de calidad. También se han identificado las razones y motivos por los que la metodología de este trabajo es imprescindible en las empresas actuales. Por otro lado, se ha desarrollado el enfoque desde el punto de vista de proyecto del que se deben conocer los conceptos fundamentales. Y por último se marcan los objetivos y estructura del mismo.

El siguiente capítulo define casi al completo el proceso a seguir para asegurar la Calidad de equipos eléctricos. Se inicia situando las fases del diagrama de procesos en la etapa correspondiente del proyecto para dar un enfoque global y de conjunto. También se realizará una estandarización de las guías, procedimientos y especificaciones.

A continuación se llega a definir por separado la descripción detallada y la documentación que aplica en cada una de las fases así como su diagrama correspondiente.

Para finalizar el capítulo se desarrollará el punto de aplicación al transformador de potencia. Se describirá su funcionamiento enumerando los componentes más importantes que lo forman, así como un breve resumen de su proceso de fabricación. También se describirá la información que debe contener la documentación igual que se ha hecho con cada una de las fases, pero en este caso para este equipo en concreto.

El capítulo 3 se centrará en el registro y análisis de la información referida a los suministradores que se crea durante todo el proceso del aseguramiento de la calidad. Se definirán unas herramientas tipo, cómo elaborar un registro y que informes se pueden obtener. Por último, se explicará el proceso de seguimiento y control de los suministradores una vez terminado el aseguramiento del equipo de cara a proyectos futuros.

Para terminar el trabajo se completará el segundo objetivo con la planificación y el presupuesto.

Las conclusiones cierran este proyecto que pretende integrar a la calidad en el mundo actual de las empresas como un requisito importante y a tener en cuenta exponiendo que afecta mucho más de lo que se cree en un inicio.

## Cap. 2. Diagrama de procesos para el aseguramiento de la Calidad

### 1. Introducción

En este capítulo se pretende diseñar un diagrama de procesos que defina cada uno de los puntos que hay que realizar para asegurar la calidad en la adquisición e instalación de equipos eléctricos, siempre desde el enfoque de proyecto, como se ha explicado en el capítulo 1. Se traduce en un camino a seguir desde que se recibe la documentación del cliente del proyecto, en la fase de oferta, hasta la autorización de envío del equipo. Se sitúa en la tercera etapa definida en el capítulo anterior, control y seguimiento, y dentro de la ingeniería de detalle, se encuentra el esquema de ilustración 12:



Ilustración 12. Fases diagrama de calidad

Antes de iniciar la estructura de cada una de las fases que componen el diagrama de procesos, se debe estandarizar algunos de ellos elaborando sus propios procedimientos, especificaciones o guías, entre otros documentos. Este es el primer paso de cara a una visión de negocio actual y emergente para las empresas, una vez generalizado el proceso es mucho más fácil crear documentos específicos que agilizarán el trabajo, por ejemplo según la norma que aplique en cada país: IEEE en Canadá, SABS en Sudáfrica, IEC en Europa. Además también permite identificar procesos que no añaden valor y por tanto eliminarlos.

En el punto 2 del presente capítulo se elabora una guía de calidad de suministros, en la que se incluyen la especificación de calidad y el procedimiento de inspección que se explican a continuación, los cuales permiten la estandarización del proceso y establecer una clasificación para los equipos. A su vez es más cómodo y rápido especificar para un tipo de equipo según la planta en la que se instale.

Las fases del esquema superior (oferta, fabricación y autorización de envío) se componen de tres partes: una descripción, documentación necesaria y subprocesos que forman parte de las fases pero que necesiten ser explicados de manera individual. Cada fase se explica con un flujograma inicial para definir exactamente el proceso. La documentación es genérica para equipos eléctricos o en algunos casos, como ya se verá en el punto 3.2 de este capítulo, válida para todo tipo de equipos.

El transformador de potencia es el equipo inspeccionado por las razones ya indicadas en el capítulo 1, debido a su complejidad se dedicará el punto 6 a la explicación de sus características y se enseñará punto por punto el diagrama de procesos para la adquisición y control de este equipo.

## **2. Estandarización de procesos**

Se trata de definir un sistema de funcionamiento que indique los requisitos similares a la mayoría de equipos e indispensables que deben seguir las empresas que deseen adquirir un equipo que asegure la calidad y a su vez que ésta optimice recursos, y no olvide alguno de ellos en cada proceso de adquisición.

Es conveniente que cada empresa elabore su propio sistema porque estos requisitos son los que marcan la diferencia entre una empresa y otra. Se denominan competencias clave, son los que ofrecen una ventaja competitiva al negocio dentro del mercado. Además son los factores que mejoran los productos finales que ofrece la empresa y son los que se deben perfeccionar en caso de querer destacar en este sector.

Para que una empresa pueda asegurar la calidad correctamente de los equipos que compre debe tener en cuenta **tres principios fundamentales**: actuar al principio del proceso, seguir un estándar común de requisitos mínimos y disponer de personal cualificado. A continuación se explican:

1. Actuar al principio del proceso, para evitar que problemas de calidad sean detectados en obra o en otro punto del proyecto (construcción, puesta en marcha (PEM) o servicio), donde el impacto en plazo, coste e imagen en el cliente es mucho mayor. Se traduce en prevención de errores desde el inicio y reducir el coste en problemas que puedan aparecer después.

Se debe tener en cuenta en la planificación del proyecto para poder llevarlo a cabo en la fase de control y seguimiento.

2. Seguir un patrón o estándar común de requisitos mínimos en los equipos que se compren para garantizar su calidad. Éstos sirven para comparar, medir y revisar y se puede dedicar más recursos a los equipos de más riesgo. Una forma de seguir este principio es definiendo unas **categorías de suministros**, que se explicarán a lo largo de este punto.
3. Crear o actualizar formación si ya existe, un departamento formado por personal cualificado que pueda realizar auditorías de homologación, inspección y revisión de documentos de calidad. Gracias a un equipo competente de personas en línea con las especializaciones de ingeniería, si existe en su caso, que permita atender inspecciones críticas, supervisar la inspección subcontratada (si es necesaria) y revisar los documentos técnicos y de calidad de los suministradores.

El segundo principio está enlazado con la especificación de Calidad, explicada a continuación, se estructuran unos requisitos mínimos así como un listado de equipos con los que deben cumplir cada uno, y se crea un método de trabajo estándar que agiliza más el proceso. Se podrían dedicar más recursos a casos nuevos, o realizar más inspecciones, que ahorra tiempo desde el principio lo que se traduce en costes en cada equipo que se deba suministrar.

Por último, si todo lo anterior se hace con personas cualificadas redundará en alcanzar un mejor resultado final. La empresa debe mantener una política de mejora continua en ese aspecto. La formación siempre es necesaria ya que aparecen conceptos nuevos, por ejemplo toda la normativa aplicable del diseño de los equipos se actualiza continuamente, por tanto el personal cualificado debe estar al tanto de los mismos. También los empleados deben compartir información, es un trabajo común, y

aunque cada persona pueda especializarse en un tipo de equipos, el fin es el mismo: mejorar.

De ahí que deban registrar la información, realizar informes, y llevar un seguimiento de las incidencias o no conformidades más importantes producidas, como se explicará más detenidamente en el capítulo 3. Los siguientes conceptos serán los que permitan diferenciar la categoría de los suministros según el grado en que afecten a:

- *Seguridad de las personas e instalaciones.*
- *Eventual parada o falta de rendimiento de la instalación debido a un fallo en el suministro:* si el suministro que falla hace que la instalación deba parar o se pierde rendimiento, implica que se pierde beneficio, por lo que no debe ocurrir.
- *Complejidad del suministro o impacto en el camino crítico del proyecto:* si el suministro es muy complejo es muy probable que pueda dar fallo antes que otro por lo que se debe tener en cuenta para realizarle más inspecciones o pruebas. Si el proyecto se retrasa por un suministro se debe indicar de alguna manera para atender con más prioridad ese equipo.
- *Seguridad nuclear:* en el caso de que haya suministros para estas instalaciones.

La categoría de calidad se puede asignar en función de la incidencia del material, equipo o repuesto en base a la importancia, complejidad y singularidad del suministro. Esta categoría determina además los requisitos documentales y de control de calidad que aplicarán al suministro, como se verá en el punto 6. El proyecto asignará más o menos recursos a la inspección del suministro en función de la categoría, y podrá decidir si aumentar la categoría hacia más crítico si el proyecto así lo requiere. Los equipos y materiales se clasificarán de la forma siguiente:

**Equipos de categoría I:** son los considerados más importantes para el proyecto. Son aquellos equipos cuyo funcionamiento afecta directamente a la operación de la instalación que se considere. La parada por avería o anormal funcionamiento de estos equipos provoca la inmediata parada o pérdida de rendimiento, o de la seguridad de las personas y equipos de la instalación.

**Equipos de categoría II:** son suministros específicos para el proyecto pero de menor importancia. Aquellos cuya parada o anormal funcionamiento no afecta de forma inmediata al funcionamiento de la instalación, ni a la seguridad de personas y equipos, permitiendo con los medios habituales de mantenimiento con que cuenta la instalación su sustitución o reparación, sin que durante el tiempo destinado a esta tarea deban ser sustituidos por otro equipo de igual o similares prestaciones.

Para ambas categorías están excluidos los equipos de catálogo o fabricación serie. También hay que considerar la complejidad técnica del suministro, así como la singularidad del mismo y afectación al camino crítico del proyecto.

**Equipos de categoría III:** son aquellos equipos de catálogo, estándar, de estantería o aquellos materiales en bruto que provienen de almacén diferente del fabricante. Son equipos de fabricación en serie. Son considerados como material de recuento, pero no deben faltar nunca.

Si se compara con el método de clasificación ABC se engloba en los equipos de categoría C, representan un 5% del valor total pero son entre el 50% y el 75% del total de los artículos. A continuación se expone un ejemplo en la ilustración 13 de la categorización de algunos de los equipos eléctricos y de instrumentación de una subestación:

<b>EQUIPOS ELÉCTRICOS E INSTRUMENTACIÓN: SUBESTACIÓN</b>	<b>CATEGORÍA</b>
Transformador de potencia	I
GIS	I
Celdas primaria/ secundaria	I
Interruptores	I
Seccionadores	I
Cable aislado de potencia	I
Cuadros de control y protección	I
Transformador servicios auxiliares	II
Transformador tensión	II
Transformador intensidad	II
Baterías condensadores	II
Reactancia	II
Aisladores	III
Conductores de cobre	III
Cables y terminales de media tensión	III
Aparatos de iluminación y tomas de fuerza	III

**Ilustración 13. Tabla categorías equipos subestación**

La especificación de Calidad debe describir los requisitos de documentación y el proceso de control de la calidad de los productos que son suministrados por los proveedores de ingeniería, materiales y equipos en las actividades de

aprovisionamiento. El alcance de los equipos para proyectos de ingeniería dependerá de la empresa que lo realice y su ámbito de trabajo.

### 2.1. Documentación requerida

La documentación que debe elaborar el suministrador y/o enviar al comprador se clasifica en función de las categorías que se han explicado anteriormente. Esta documentación está listada en unas tablas, que se encuentra en el anexo de este TFG, que indican si el comprador, en este caso, la empresa que quiere suministrar el equipo, debe aprobar la documentación, o si el suministrador la debe presentar en oferta o por el contrario entregar durante el desarrollo del equipo.

Toda la documentación listada se irá definiendo y se presentará algún ejemplo de aplicación durante los apartados 3,4 y 5 de este capítulo. Además en el apartado 6 se hará parte del proceso con el transformador de potencia como ejemplo.

### 2.2. Control de Calidad del suministro

Aquellos equipos considerados de categoría I y II, el suministrador elabora un Programa de Puntos de Inspección (PPI) preliminar que deberá enviar junto con la oferta, cuyo contenido mínimo se ajustará al estándar básico que el comprador le envíe junto con el pedido de compra. Este documento es el que utiliza la empresa para controlar la calidad del equipo. En el apartado 3.2 de la fase de oferta se mostrará un posible diseño para un equipo eléctrico.

Un PPI es un documento elaborado por el suministrador y aprobado por el comprador que recoge de forma secuencial un listado de pruebas y ensayos que deben realizarse al equipo durante la fase de recepción de material, fabricación e inspección final de un equipo.

Será el PPI emitido por suministrador el que se utilice en su producción para asegurar la calidad del equipo, siempre y cuando, como se ha dicho el comprador lo haya aprobado. Este programa define los documentos aplicables (plano, norma, especificación), el alcance de la inspección, y los tipos de puntos de inspección adecuados.

Estos puntos constituyen las clases de inspección (C.I) y pueden ser:

- **Punto de aviso (W):** es un hito importante de la fabricación, en el que el suministrador está obligado a notificar al comprador por adelantado la operación realizada para que pueda ser supervisada, pero puede ejecutarse sin la presencia del cliente. Se marca con una W (witness point) en el PPI en la columna definida para la clase de inspección.

- **Punto de espera (H):** es un hito de parada en el que se requiere la inspección o presencia del comprador antes de continuar con la actividad. Es más crítico que el

punto de aviso. Se marca con un H (hold point) en el PPI en la columna definida para la clase de inspección.

Por otro lado, la verificación de estos productos se realiza mediante:

- Revisión y aprobación de la documentación suministrada.
- Inspección en origen en las instalaciones del suministrador.
- Inspección en las instalaciones del cliente:
  - Recepción de equipos en obra (fuera del alcance de este TFG).
  - Supervisión del montaje, obra civil, calidad, medio ambiente y seguridad de la obra. (fuera del alcance de este TFG).
  - Pruebas funcionales y operacionales de puesta en marcha de equipos, sistemas y/o instalaciones. (fuera del alcance de este TFG).

La inspección en origen es un proceso de control de los productos suministrados (se lleva a cabo en las instalaciones del fabricante o suministrador). Se pondera la inspección en función de la importancia o categoría de los suministros concentrando la inspección en los equipos más importantes. Los suministros son clasificados por las categorías indicadas anteriormente.

¿Cómo se inspecciona? La inspección se hace de acuerdo a la normativa aplicable de diseño de los equipos, los requisitos del cliente y los requisitos internos, que se traducen en especificaciones técnicas.

Las inspecciones son herramientas utilizadas para realizar un control o verificación de la calidad del producto comprado, según exige el apartado 7.4.3. de la *ISO 9001:2008 "Verificación de productos comprados"*. Engloban dos aspectos importantes, por un lado el control de calidad del propio equipo y también la documentación asociada a dicho equipo.

También se llevará a cabo la inspección en origen de los equipos y materiales solicitados, cuando lo requiera el cliente o se considere necesario por exigencias del proyecto.

En aquellos suministros que se requiere inspección en origen, el suministrador avisa al responsable de calidad del proyecto de cuándo van a realizar las diferentes pruebas y ensayos. En este sentido, existen dos posibles alternativas: los puntos de espera (H) o bien los puntos de aviso (W) marcados en el PPI.

También en equipos principales y en otros requeridos por estándar de mínimos y/o por el proyecto se realizará una inspección final de los componentes más significativos. Esta inspección incluye: control dimensional, control de identificación, documentación, pintura... En el apartado 4.1 de este capítulo se describe más detalladamente el proceso de fabricación que incluye la inspección en origen.



### 3. Fase I: Oferta

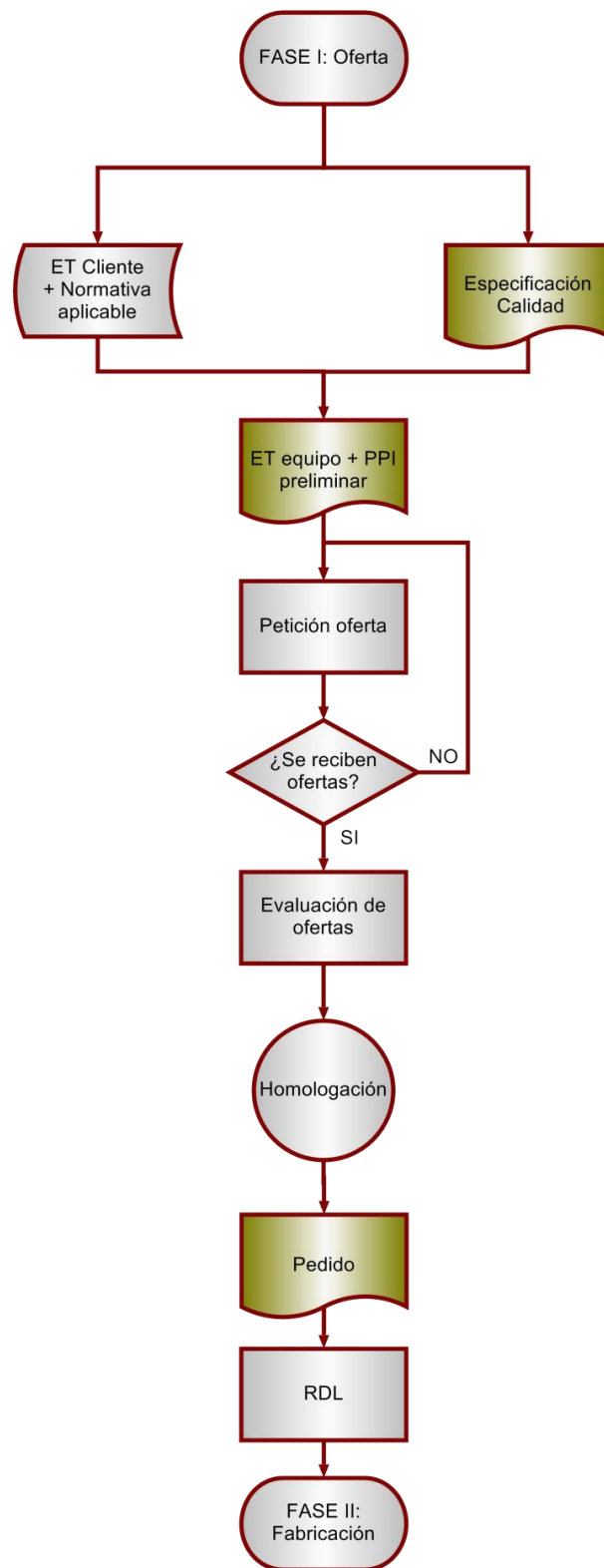


Ilustración 14. Diagrama fase I: Oferta

### 3.1. Descripción de la fase

Como ya se ha explicado en la introducción de este capítulo, esta etapa de oferta de los equipos se sitúa dentro del proyecto en su tercer período, seguimiento y control, cuando se diseña la ingeniería de detalle y se procede a la compra de equipos. Es la primera fase del diagrama de procesos para el aseguramiento de la Calidad.

La función del responsable de Calidad en esta etapa es identificar los requisitos de calidad del proyecto y definir aquellos que se deben transmitir a suministradores y contratistas en los documentos que se elaboran.

La primera fase se compone a su vez de dos subfases: compra y evaluación del suministrador, que a su vez incluye el proceso de homologación, en el aseguramiento de la calidad de un equipo, como se puede ver en la ilustración 14 del esquema superior. Su último punto es la reunión de lanzamiento (RDL). Suelen intervenir como mínimo dos departamentos: ingeniería y calidad.

El responsable de Calidad identifica los requisitos de calidad del cliente que afectan a los suministros y son añadidos a los estándares mínimos de calidad definidos en su especificación, la cual ha sido explicada en el apartado 2 de este capítulo. Estos requisitos son incluidos por ingeniería en la especificación técnica del equipo que elabora.

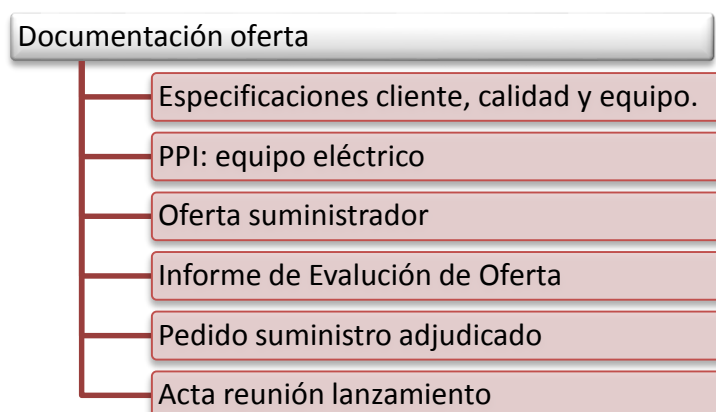
Posteriormente ingeniería elabora la especificación técnica del equipo (ET), que incluye, entre otros requisitos de calidad, un Programa de Puntos de Inspección (PPI) preliminar, cuyo contenido son los requisitos mínimos y exigencias del cliente. Se pide ofertas a los suministradores que se consideren más adecuados. Para ello se debe tener en cuenta si el cliente ha facilitado una lista de los mismos, o bien se exige algún suministrador en concreto.

Tras recibir las ofertas se verifica que contienen todos los requisitos técnicos y de calidad pedidos. En este momento acaba la subfase de compra. A continuación, se realiza la evaluación de calidad, y se plasma en el informe técnico de evaluación de ofertas (ITEO). Se propone suministrador para la adjudicación, se procede a homologar si es necesario y se emite el pedido.

Para finalizar se realiza la reunión de lanzamiento del pedido en la que se ajustan los requisitos finales, se decide con el suministrador los plazos intermedios de acopio de los materiales, la realización de las pruebas en fábrica, las fechas de la entrega de la documentación y se revisan características del suministro.

Toda la documentación aplicable está enumerada en la ilustración 15.

### 3.2. Documentación



**Ilustración 15. Esquema de la documentación oferta**

- Especificaciones: en este punto se detallan los requisitos de calidad que contiene la especificación técnica elaborada para el equipo, así como un índice general de la información mínima que debe contener. La especificación de calidad ya ha sido explicada en el apartado 2 y la del cliente se expondrá en el apartado 6 aplicada al transformador de potencia.

Una especificación técnica es un documento que hace una descripción para la construcción o compra de un equipo o servicio, lo suficientemente detallada, que permita construir o comprar dicho producto o servicio a entera satisfacción de las partes implicadas. Debe contener, en general, como mínimo los siguientes campos:

1. Objeto
2. Documentación de esta especificación.
3. Alcance del suministro.
4. Requisitos adicionales
  - 4.1. Bases de Diseño
  - 4.2. Requisitos mecánicos
  - 4.3. Requisitos eléctricos e instrumentación
  - 4.4. Requisitos de control
  - 4.5. Requisitos de implantación
  - 4.6. Requisitos para transporte
  - 4.7. Requisitos para montaje y/o puesta en marcha
5. Excepciones y aclaraciones a las especificaciones.
- 6. CALIDAD**
7. ANEXOS
8. Apéndices

El apartado de calidad se distribuye de la siguiente forma:

#### 6.1 General:

6.1.1 El suministrador debe disponer de un sistema de gestión de calidad certificado (ISO 9001 o equivalente) aceptado por el cliente que asegure el cumplimiento, por su parte y por sus subcontratistas, de los requisitos establecidos en el pedido.

6.1.2 También será responsable del control del diseño, fabricación y pruebas funcionales finales del equipo ofertado.

6.1.3 Deberá cumplir con los requisitos específicos de control de calidad y documentación recogidos en la especificación de calidad.

6.1.4 A efectos de los requisitos documentales que debe satisfacer el suministrador, se considerará que el/los equipos referidos en esta especificación son considerados **Categoría X** y por lo tanto deberá presentar la documentación requerida para tal categoría mencionada en el anexo 1 del presente trabajo.

6.2 Documentos Calidad: se especificará la documentación que se detalla en este punto.

#### 6.3 Dossier Final de Calidad:

6.3.1 Se tendrá en cuenta lo indicado en la especificación de calidad.

6.3.2 La última certificación será pagada cuando el dossier completo sea entregado. Asimismo, el cliente penalizará por retraso en la entrega de la documentación en las fechas acordadas.

6.4 Inspección y seguimiento: El cliente se reserva el derecho de inspeccionar, por sí mismo, en cualquiera de las etapas de fabricación, montaje o expedición, tanto los talleres, almacenes o cualquier otra dependencia del suministrador o sus sub-proveedores.

#### 6.5 Otras consideraciones:

6.5.1 La desviación de cualquier requisito técnico establecido en el pedido, originará la emisión de un informe de no-conformidad, proponiendo en su caso las correspondientes medidas correctoras, que deberán ser aprobadas por el cliente. Este requisito también aplicará a las desviaciones relativas a documentos originados por suministrador una vez que hayan sido revisados y comentados por el cliente.

6.5.2 Cuando así lo solicite el cliente, el suministrador estará obligado a demostrar la cualificación de operarios y procedimientos aplicables, incluyendo la verificación, contraste y calibración de los aparatos de control y medida a ser utilizados. También podrán ser auditados por el cliente o sus representantes.

- Programa de Puntos de Inspección (PPI): su contenido ya se ha explicado en el apartado 2. Se aporta un diseño para un equipo eléctrico:

<b>LOGO EMPRESA</b>	<b>PROGRAMA DE PUNTOS DE INSPECCIÓN (PPI)</b>	<b>LOGO SUMINISTRADOR</b>		
Cliente:	Nº pedido cliente:			
Proyecto:	Nº pedido suministrador:			
Fabricante:	Pág.:	Fecha:	Rev.:	
Equipo:	Identificación doc.:			

ITEM Nº	DESCRIPCIÓN	ESPECIFI- CACIÓN/ PROCEDI- MIENTO	FIRMA DE PUNTOS DE INSPECCIÓN									OBSERVACIONES /COMENTARIOS
			SUMINISTRADOR			EMPRESA			CLIENTE			
			C.I	FECHA	FIRMA	C.I	FECHA	FIRMA	C.I	FECHA	FIRMA	
1	PREVIO A FABRICACIÓN											
2	RECEPCIÓN DE MATERIAL											
3	FABRICACIÓN											
4	PRUEBAS FINALES: 4.1 Ensayos tipo/diseño 4.2 Ensayos rutina/indiv. 4.3 Ensayos especiales											
5	INSPECCIÓN FINAL											
6	AUTORIZACIÓN DE ENVÍO											

LEYENDA: Clases de inspección (C.I.)		Notas:	Aprobación final:(fecha/firma)		
D: doc. aprobar antes fab.			SUM	EMPRESA	CLIENTE
C: requerido certificado					
R: rev. Certificado					
W: pto. aviso	H: pto. espera				

- Oferta suministrador: es el documento que envían aquellos suministradores interesados en responder a las necesidades que solicita una empresa u otra organización. Debe ajustarse y responder a los requisitos que se han solicitado en la petición de oferta, aceptando las condiciones exigidas, aunque también puede presentar excepciones a las condiciones exigidas, siempre y cuando valore y justifique sus excepciones. Para ser considerado deberá cumplir con el plazo de presentación de ofertas que aparezca.

En este caso no se puede disponer de un índice o formato común dado que cada suministrador elabora uno diferente.

- Informe técnico de evaluación de ofertas (ITEO): es una herramienta utilizada para asegurar que todos los ofertantes para un determinado suministro, ya sea un bien o un servicio, cumplen con todos los requisitos exigidos.

Para analizar las ofertas se debe tener en cuenta toda la documentación entregada a los proveedores en la fase de compra, ya que deben cumplir con lo exigido en dicha documentación.

En este documento se deben describir las ofertas de todos los suministradores interesados (o hacer mención a la documentación de oferta). Deben quedar reflejados todos los documentos enviados por los ofertantes, y se tiene que realizar un análisis de antecedentes considerando trabajos o referencias anteriores, si los hubiera, con la empresa correspondiente. Se evalúan las ofertas y se dan las conclusiones y comentarios que correspondan. La evaluación consta de varias partes, de las cuales En este TFG se detalla únicamente cómo se realiza la evaluación de calidad:

- Técnica
- Calidad
- Medio ambiente
- Prevención de Riesgos Laborales (PRL)
- Económica

El responsable de calidad debe evaluar durante la elaboración del ITEO los siguientes puntos:

- Certificación ISO 9001: debe analizar las ofertas para comprobar que los ofertantes disponen de certificado de calidad ISO 9001 en vigor, verificando además que el alcance de éste cubre el equipo ofertado.

- Organización: el ofertante debe proporcionar la organización de la empresa para que el responsable de calidad evalúe si es adecuada o no para el alcance del equipo.
- Aceptación de requisitos: comprueba que los ofertantes aceptan en las ofertas el cumplimiento de todos los requisitos de calidad exigidos en la petición de oferta, así como los controles, ensayos y pruebas requeridos.
- Aportación de documentación exigida en la petición de oferta: revisar la documentación aportada PPI, certificados de materiales, plan de calidad, etc.

También se encarga de comprobar el estado homologación de los suministradores (o contratistas) en la herramienta ERP de la empresa, de la que se hablará en el capítulo 3 del presente trabajo. Si el suministrador no está homologado para el material o servicio ofertado, en caso de resultar adjudicatario, se deberá comenzar el proceso de homologación, que se explica en el apartado 3.3, del suministrador para poder hacer efectivo el pedido de compra.

Tras realizar la evaluación de los puntos mencionados anteriormente y comprobar el estado de homologación, debe indicar si el suministrador o contratista cumple con lo solicitado, indicando si es válido o no, desde el punto de vista de calidad, para desarrollar el trabajo.

Al finalizar todas las evaluaciones el responsable de la elaboración del ITEO (que ya no es el responsable de Calidad) se encarga de plasmar en el informe un resumen y las conclusiones que sirvan para que el Departamento de Compras pueda llevar a cabo la adjudicación del suministro o los trabajos al ofertante más idóneo. Debe hacer especial hincapié en incluir todos los documentos necesarios en la lista de documentación que compras introducirá en el pedido del suministrador adjudicado.

Por último, un requisito adicional que se debe tener en cuenta en la evaluación económica es el hecho de incluir una penalización a aquellos suministradores de los que no se conozcan referencias anteriores porque nunca se haya trabajado con ellos, de nuevos mercados, por razones que se explican más detalladamente en el capítulo 4.

- Pedido suministrador adjudicado: es el documento que emite la empresa u organización correspondiente, en el que cita en orden de importancia aquellos documentos aplicables, al suministrador adjudicado después de completar la evaluación de todas las ofertas recibidas. Es la carta oficial de adjudicación, en la que se detallan plazos y formas de pago, incluidas penalizaciones, si fuese necesario.

- Acta reunión de lanzamiento: es un documento generado después de la reunión de lanzamiento que se convoca de forma después de la adjudicación formal del pedido.

### 3.3 Subprocesos

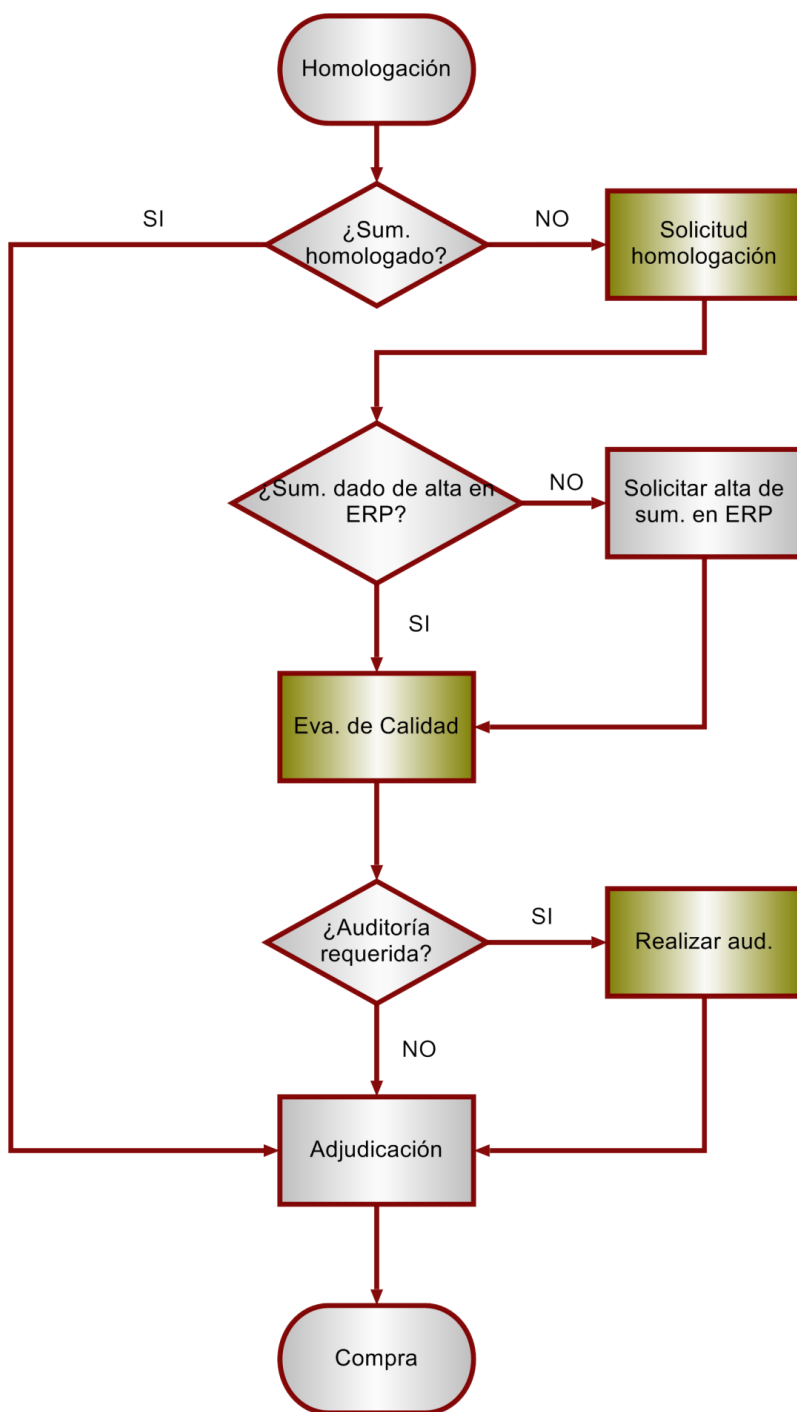


Ilustración 16. Diagrama subproceso: homologación



El proceso de homologación, que se muestra en la ilustración 16, de suministradores consta de los siguientes pasos:

1. Alta del Proveedor en sistema (ERP): para poder homologar al proveedor debe estar registrado en el sistema de información de la empresa. Si no lo estuviera, deben introducirse sus datos en el sistema ERP. Una vez dado de alta aparece sin homologar para ningún suministro, lo cual permite hacer peticiones de oferta, pero no pedidos.
2. Solicitud de homologación: para solicitar la homologación deben haberse evaluado las ofertas, es decir, debe existir el informe técnico de evaluación de ofertas. Por ello este proceso de iniciarse lo antes posible para no inferir con el plazo de adjudicación. El proceso de homologación lo debe iniciar el responsable de calidad encargado de la evaluación de calidad de las ofertas, enviando al responsable de homologación de suministros, si existe, una solicitud de homologación, aportando datos generales del suministrador, datos necesarios para la evaluación de calidad, financiera y de prevención de riesgos laborales.
3. Evaluación: esta evaluación suele depender del importe y el tipo de suministro requerido. En función de esas características y teniendo en cuenta si el proveedor está certificado por la ISO 9001, será necesaria una auditoría de evaluación de calidad. También requieren auditoría aquellos suministros de categoría I, si están relacionados con la seguridad nuclear, o todos aquellos donde el cliente lo solicite.

Esta auditoría consiste en visitar las instalaciones del suministrador para poder asegurar el cumplimiento de los requisitos exigidos en el pedido del equipo concreto. De tal manera que se obtengan referencias acerca del proveedor elegido.

Si el resultado de la auditoría es favorable, el suministrador quedará homologado de acuerdo con lo especificado en el informe de la auditoría de evaluación. Puede ser homologado, homologado temporalmente o no homologado. Un suministrador puede pasar de homologado temporalmente a homologado siempre que existan evidencias de haber suministrado un pedido completo y que los resultados de seguimiento sean satisfactorios. Estas características se amplían más en el capítulo 3 de este trabajo.

Por último, una vez homologado para el suministro pedido, el suministrador queda adjudicado y se procede a la compra.

#### 4. Fase II: Fabricación

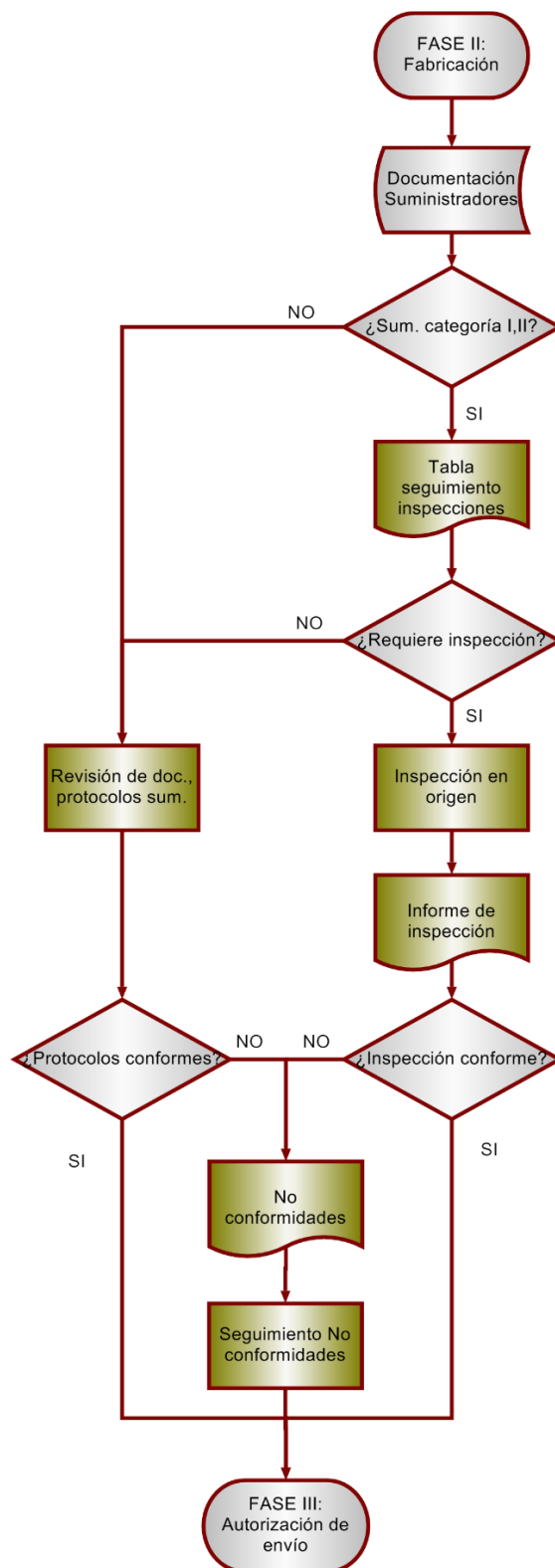


Ilustración 17. Diagrama fase II: fabricación

#### 4.1 Descripción de la fase

La fase de fabricación es la continuación en el diagrama de procesos para el aseguramiento de la Calidad a la reunión de lanzamiento con la que termina la fase de oferta. También se encuentra dentro de la etapa de control y seguimiento del proyecto.

Se compone de tres subfases de suministro:

1. Documentación del suministrador.
2. Gestión de avisos de inspección.
3. Gestión de desviaciones.

De nuevo deben intervenir los departamentos de ingeniería y calidad, además del suministrador y el departamento de logística, si se le ha involucrado en el proyecto; en caso contrario será el director de proyecto o en quien delegue las funciones de logística.

Una vez terminada la fase de oferta del equipo, el suministrador envía los documentos según los plazos acordados. Ingeniería debe aprobar la documentación técnica, la parte de calidad de estos documentos técnicos son revisados por el responsable de Calidad: PPI, Plan de calidad, procedimientos especiales de fabricación, inspección y ensayo, entre otros (tener en cuenta lo que cada empresa haya definido en su especificación de calidad y según la categoría asignada).

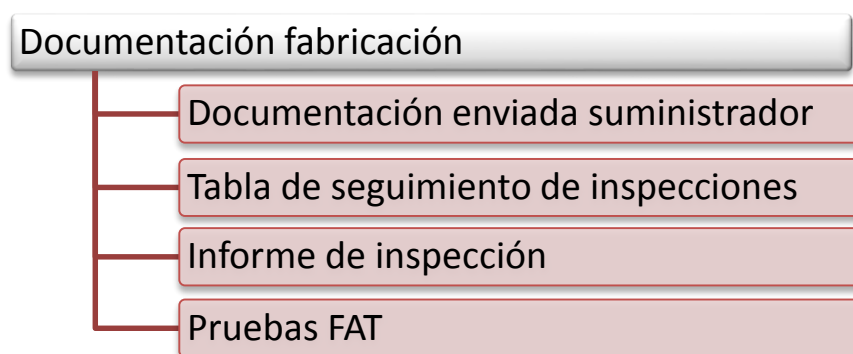
Se elabora una tabla de seguimiento de inspecciones, para los proyectos que así lo requieran (equipos categoría I y II), en la que se marcan los puntos de aviso y espera del PPI, que ya han sido explicados en la fase I. El departamento de logística introduce las fechas previstas de inspección y la localización de los talleres de fabricación en dicha tabla. Esta tabla junto con el programa de fabricación del suministrador se deben mantener actualizados como parte del control del suministro.

Dentro de la gestión de avisos de inspección, se encuentra la verificación del producto que es la **inspección en origen**, como se ha definido en el apartado 2 de este capítulo. El aviso de inspección lo da el suministrador, pero están definidas en el PPI con una H/W todas las posibles inspecciones a las que se debe acudir, y también aparece indicado a las que asiste el cliente. Se debe tener en cuenta la documentación de fabricación que se muestra en el esquema de la ilustración 18.

En caso de realizarse la inspección, se debe hacer un informe de inspección, se revisa por el responsable de calidad del suministro y se distribuye entre los integrantes del proyecto correspondiente. Este informe incluye también los datos de los defectos y puntos pendientes encontrados (no conformidades). Para obtener un informe favorable se deberán seguir y resolver las no conformidades detectadas, como se puede ver en el esquema de la ilustración 17.

En caso de no realizarse inspección y para aquellos suministros categoría III se revisaran los protocolos generados por el suministrador. El tratamiento de desviaciones y distribución de documentación seguirá el mismo procedimiento que ha sido indicado en el párrafo anterior.

#### 4.2 Documentación



**Ilustración 18. Esquema de la documentación fabricación**

- Documentación enviada por el suministrador: es aquella documentación requerida en la petición de oferta que debe enviar el suministrador una vez adjudicado para revisar: plan de calidad, certificaciones..., toda aquella documentación detallada según la categoría en la especificación de calidad. Lo más importante es el PPI, ya que es el documento base que se utiliza para el control de calidad de los suministradores.

- Tabla de seguimiento de inspecciones: es una herramienta de control del cumplimiento de la planificación de las inspecciones de suministros. Por un lado se utiliza para hacer el seguimiento del estado de las inspecciones de los suministros y también se efectúa un control de la documentación asociada a dichos suministros. Es utilizada por los responsables de Calidad del proyecto. Se trata de un documento excel donde se van anotando los distintos suministros y las inspecciones que les corresponden, añadiendo, además, información relativa a dichas inspecciones. La lista de control de inspecciones contiene la siguiente información:

- Suministro: se indica el nombre o breve descripción del suministro.
- Witness/Hold point: se indica si la inspección considerada, requiere obligatoriamente la presencia de la empresa (Hold point) o simplemente se acepta que el suministrador lleve a cabo las pruebas correspondientes y la documentación de dichas pruebas sea revisada posteriormente (Witness point).
- Cliente, proveedor y área: en estas casillas de la lista se mencionan los nombres de cliente y proveedor, así como el área geográfica a la que pertenece el suministrador (por ejemplo: USA, México, España, etc.).

- Estado del PPI: se indica el estado del Programa de Puntos de Inspección del suministro. Los posibles estados son los siguientes:

R: revisado; C: revisado con comentarios; Z: rechazado

- Fechas de inspección: se indican la fecha planificada de la inspección, la fecha confirmada y la fecha en la que el suministrador aviso de que se iban a realizar las pruebas correspondientes a la inspección.

- Tiempo requerido para la inspección: se fijan los días necesarios.

- Asistentes: en las casillas correspondientes se indican los nombres de los responsables de ingeniería, calidad que asistieron a la inspección.

- Informe: se indica la fecha, la identificación del informe de inspección, así como el resultado de la inspección.

- No conformidades: código de las no conformidades encontradas en la inspección y que se registran en la base de datos correspondiente de la empresa.

- Observaciones y enlaces: se puede añadir una casilla para comentarios y otra para incluir los enlaces a la ruta correspondiente del gestor documental que se utilice en el proyecto.

- Informe de inspección: es el documento en el que se recoge todos los hallazgos de la inspección realizada. En este informe se incluyen los siguientes puntos a destacar:

- Referencias y especificaciones aplicables.
- Alcance de la inspección: se suelen indicar los puntos del PPI que corresponden.
- Equipos de medida utilizados: en este punto es necesario adjuntar en el informe los certificados de calibración de los aparatos de medida.
- Desviaciones encontradas en la inspección y otras pendientes de cierre.
- Registros de la inspección: se adjuntan todos los informes de las pruebas, así como los PPI cumplimentados.
- Resultado de la inspección, aportando conclusiones y se adjuntas fotografías tomadas durante la inspección para corroborar lo indicado en el informe.

Una vez realizada la inspección, el responsable de Calidad informa al Director de Proyecto de todas las desviaciones encontradas.

- Pruebas de aceptación en fábrica: son las llamadas FAT (Factory Acceptance Test) se componen de diferentes tipos de ensayos: rutina, tipo o especiales.

## 5. Fase III: Autorización de envío



Ilustración 19. Diagrama fase III: autorización de envío

### 5.1 Descripción de la fase

Esta última fase representada por la ilustración 19 es la que completa el diagrama de procesos para el aseguramiento de la Calidad. Es la fase más corta, pero también la más determinante, si un equipo no dispone de Autorización de envío no podrá salir de fábrica y transportarse a la instalación.

Los departamentos implicados son calidad y logística o bien el director de proyecto, además del suministrador.

Todos los equipos, requieran inspección o no, deberán disponer de la correspondiente **Autorización de envío**, y de la orden expresa del Departamento de logística, o en su caso del director de proyecto. El suministrador efectúa la solicitud de Autorización de envío, y logística requiere el visto bueno (V° B°) de calidad.

Calidad debe confirmar que las inspecciones han resultado conformes y que no existe ninguna no conformidad. También tiene que verificar si hay o no inspección final del equipo, en caso de que no hubiese, Calidad emitirá la Autorización de envío conforme a resultados de inspecciones intermedias o a documentación de pruebas y ensayos del suministrador.

Una vez dado el Vº Bº por parte de Calidad, es el departamento de logística o el director de proyecto el que emite la Autorización de envío, para coordinar medio de transporte, descarga, recepción en obra así como condiciones de almacenamiento.

### 5.2. Documentación

En esta fase la documentación generada es mínima, pero muy importante: Autorización de envío. Este documento se genera cuando se decide dar por válido el suministro, pudiendo asumir el Director de Proyecto la responsabilidad de permitir el envío del suministro con los defectos que quedaran, o por el contrario, hay ocasiones en las que se retrasa el envío de la autorización hasta que se solucionen las desviaciones. Pero siempre es el Director de Proyecto el que debe tomar esta decisión ya que puede saber la repercusión en todo el proyecto.

Un modelo que se puede utilizar con los diferentes campos para completar es el expuesto en la ilustración 20:

LOGO EMPRESA		AUTORIZACIÓN DE ENVÍO	
		IDENTIFICACIÓN:	
SUMINISTRADOR:			
Nº PEDIDO:			
DESCRIPCIÓN:			
EQUIPOS/ MATERIALES:			
OBSERVACIONES: La entrega de los equipos se efectuará a la siguiente dirección Fecha de compromiso de entrega en destino: _____			
SUMINISTRADOR	Vº Bº LOGISTICA	CONFORME DEL PROYECTO	
FECHA:	FECHA:	FECHA:	
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	
SELLO			

Ilustración 20. Autorización de envío

## 6. Aplicación práctica: Transformador de potencia

### 6.1. Descripción y funcionamiento del equipo

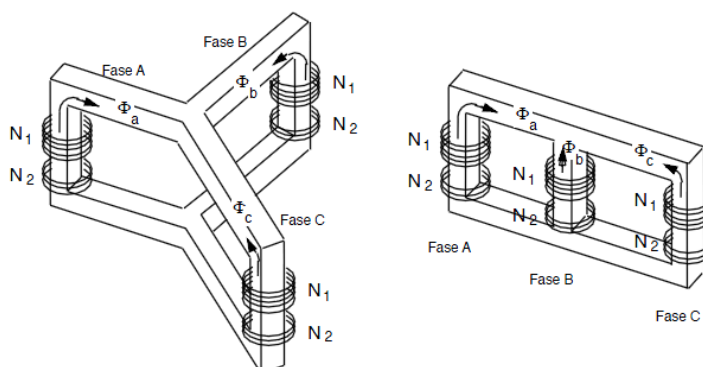
El transformador de potencia, como ya se expuso en el capítulo 1, es un equipo complejo que está diseñado para transmitir potencia de un circuito a otro. Su utilidad básica es elevar o reducir la tensión para que el transporte y el consumo de la energía eléctrica se realicen a las tensiones más adecuadas.

Su funcionamiento se basa en la circulación de una corriente alterna por uno de los arrollamientos que crea en el núcleo un campo magnético alterno. Este campo magnético induce una fuerza electromotriz, debida a las variaciones de flujo común a ambos arrollamientos, en el otro arrollamiento. De esta forma se transforma la tensión y la intensidad del primer arrollamiento en otra tensión e intensidad distintas en el segundo arrollamiento según la relación de transformación ( $r_t$ ). De modo que el producto tensión por corriente se mantenga constante.

Esta relación es el cociente del número de espiras de cada arrollamiento representado con la N y de la fuerza electromotriz de los mismos identificada con la E:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = r_t,$$

La manera de representarlo suele ser esquemática como se puede ver en la ilustración 21, pero realmente un transformador está sometido a los siguientes esfuerzos de diferentes sistemas que son:



**Ilustración 21. Representación transformador trifásico**

- Eléctricos: deben soportar el esfuerzo de las tensiones de servicio, así como las sobretensiones atmosféricas, como el rayo y las sobretensiones de maniobra. Para asegurar que los aislamientos del transformador soportan las sobretensiones que puedan ocurrir durante el servicio se realizan ensayos dieléctricos. Por ejemplo, el ensayo de impulso tipo rayo (IR), incluido en el punto 6.3 de este documento. El tipo de ensayos que debe hacerse depende del nivel de aislamiento asignado. Este nivel está asociado a la tensión que se asigne como la más elevada para el material ( $U_m$ ).

- Mecánicos: sufre esfuerzos mecánicos durante el transporte desde la fábrica hasta su emplazamiento, si se traslada de una subestación a otra, también debe estar



preparado por si ocurre un terremoto, o una falla de cortocircuito pasante, más frecuentes en España.

Se utilizan acelerómetros piezoeléctricos para medir las señales de vibración que puedan ocurrir durante el transporte del transformador. Se coloca un acelerómetro en el núcleo del transformador y otro en la cuba del mismo con el fin de comparar ambas señales al finalizar el traslado para comprobar si sobrepasan o no los límites establecidos.

Además puede verse sometido a grandes esfuerzos mecánicos por el cortocircuito pasante o externo. Se utiliza el ensayo de Análisis de Respuesta en Frecuencia por el método de barrio en frecuencias (SFRA: Sweep Frequency Response Analysis) como técnica de diagnóstico para detectar deformaciones y desplazamientos. Se realiza en funcionamiento normal de tal forma que se tenga un modelo inicial. Si ocurre un cortocircuito pasante se monitoriza comprobando con el modelo inicial si se han producido fallos internos, por ejemplo en la geometría de las bobinas.

- Térmicos: deben disipar el calor generado por las pérdidas internas, principalmente causadas por la corriente de carga. También las altas temperaturas causan el deterioro de los materiales de aislamiento del transformador. Para determinarlas entre otras cosas, se realizan ensayos de vacío o cortocircuito, explicados detenidamente punto 6.3, ya que el transformador deberá soportar todas las pérdidas más la potencia nominal para la que haya sido proyectado. También hay diversos ensayos para verificar si los aislamientos funcionan correctamente y para determinar la temperatura que pueden alcanzar ensayos como el de calentamiento.

- Químicos: hay productos que degradan el aceite de la cuba, lo que provoca que se degraden los aislamientos del transformador y con ellos la vida útil del equipo. Se comprueba el estado del aceite mediante ensayos como el de humedad, de gases disueltos en el aceite, que continúan durante la vida del transformador. Se cogen muestras periódicamente para verificar su estado. También se utilizan para prevenir fallos prematuros del transformador.

- Ambientales: las averías del transformador causadas por estos esfuerzos pueden provocar explosiones, incendios y costosos efectos secundarios, tales como prolongados cortes causados por la limpieza y reparación de la planta así como por los largos plazos de entrega de nuevos transformadores. Se realizan ensayos de fugas para controlar los gases y líquidos contenidos en el interior del equipo.

En la descripción de los esfuerzos anteriores se ha hablado de pérdidas del transformador porque igual que en cualquier dispositivo eléctrico, se producen pérdidas de potencia: ¿cuáles son? Una parte se produce ya en vacío y se mantienen constantes e invariables en carga ( $P_{Fe}$ ). La otra parte de las pérdidas de potencia se producen en los conductores de los bobinados primario y secundario, sometidos a la intensidad nominal, son las debidas al cobre ( $P_{Cu}$ ).

- Pérdidas en el hierro ( $P_{Fe}$ ): compuestas por corrientes parásitas o de Foucault y por histéresis. Las primeras son pérdidas debidas a las corrientes inducidas sobre el material ferromagnético como consecuencia de estar sometido a un campo magnético variable con el tiempo. Y las pérdidas por histéresis son aquellas producidas por el fenómeno de histéresis, que consiste en que al someter el material magnético a un flujo variable se produce una imantación en el núcleo del transformador que forma un ciclo y la transición de ese campo en el ciclo es lo que provoca dichas pérdidas.
- Pérdidas por efecto Joule o en el cobre ( $P_{Cu}$ ): pérdidas en forma de calor que se producen debidas a la resistencia propia del cobre al paso de la corriente.
- Pérdidas adicionales: pueden darse en algunos casos. Por ejemplo, pérdidas debidas a los flujos de dispersión en los conductores, que no se pueden contabilizar al realizar ensayos, es decir, no se pueden medir. Para resolverlos hay que acudir al diseño más fino de los conductores de tal forma que no puedan producirse.

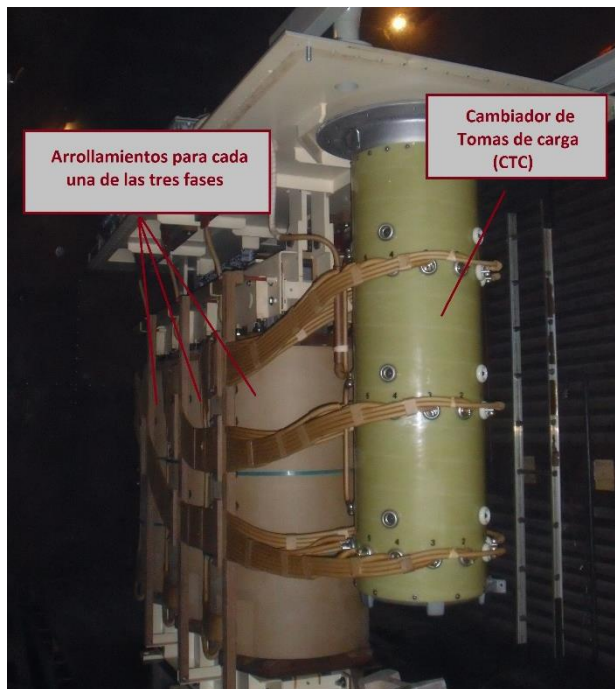
El transformador de potencia está compuesto de diferentes partes, las más importantes son:

- Núcleo: está constituido por chapas de acero al silicio aisladas entre ellas. Deben ser chapas muy delgadas apiladas de modo que las corrientes queden circunscritas en la chapa y formen trayectorias rectangulares en las láminas, lo que reducirá las pérdidas de Foucault antes explicadas. Está compuesto por las columnas, es aquella parte en la que se montan los arrollamientos, y las culatas, es la parte donde se realiza la unión entre las columnas. Se utiliza para conducir el flujo magnético. En la ilustración 22 se muestra un núcleo acorazado.



**Ilustración 22 Núcleo acorazado**

- Arrollamientos: un arrollamiento es un hilo de cobre enrollado a través del núcleo en uno de sus extremos y recubiertos por una capa aislante, que suele ser barniz. Está compuesto por dos bobinas, la primaria y la secundaria. La relación de vueltas del hilo de cobre entre el primario y el secundario proporciona la relación de transformación. Conforman el circuito eléctrico del transformador. En la ilustración 23 se muestran los tres arrollamientos que se ensamblan en un transformador.



**Ilustración 23. Arrollamientos y Cambiador de Tomas de Carga (CTC)**

- Cambiador de tomas de carga (CTC): es un dispositivo que cambia el número de espiras en uno de los arrollamientos, dejando el otro fijo. Hay diferentes formas de conexión entre los arrollamientos. Al final se trata de modificar la relación de transformación, cambiando el número de espiras, lo que conlleva a un aumento o reducción de tensión, como se muestra en la ilustración 23.

- Cuba o tanque: su principal cometido es proteger las partes activas de los transformadores (arrollamientos, núcleo...), así como dotarle de la estanqueidad necesaria para evitar fugas de líquido aislante y refrigerante y la penetración de humedad y cuerpos extraños.

Se verifica mediante los ensayos de vacío y sobrepresión. Durante el proceso de fabricación se le hacen ensayos no destructivos de líquidos penetrantes. Normalmente la cuba es un elemento que los suministradores suelen subcontratar a calderería.

- Aceite: en la actualidad la mayoría de los transformadores se fabrican sumergidos en aceite. El aislamiento de celulosa que envuelve a los arrollamientos también está impregnado de aceite. El aceite puede ser de origen mineral, muy tóxico, aunque la tendencia es a utilizar aceites de origen vegetal actualmente. Tienen una doble función: servir como elemento aislante, ya que es material muy buen dieléctrico y como un medio de refrigeración ya que es un fluido.

Su mayor problema es que deben estar secos, ya que pequeñas trazas de humedad reducen drásticamente su capacidad dieléctrica. También envejecen, más a mayor temperatura debido a la oxidación principalmente por lo que hay que evitar el contacto con el oxígeno. Como soluciones se propone un secado periódicamente para desaparecer cualquier humedad posible, vigilar composición química, etc.

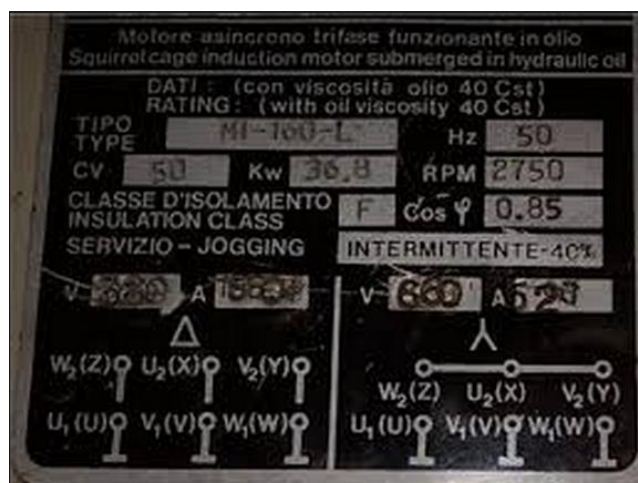
- Depósito de expansión: es un depósito de aceite, normalmente, que intenta que este exento completamente de humedad y a una temperatura razonable para no provocar dilataciones en el mismo. De ahí que esté en un depósito donde la superficie libre es menor, y le permite dilataciones para que no sufra sobrepresión interna el transformador y por tanto el envejecimiento sea menor. Se muestra en la ilustración 24, un ejemplo del mismo.



**Ilustración 24. Depósito de expansión de aceite en la parte superior izquierda.**

Los siguientes elementos también se pueden visualizar en la ilustración 24 como parte de los componentes auxiliares de los que se compone el equipo.

- Aisladores para tapas.
- Transformador de corriente.
- Juntas.
- Termómetros.
- Grifo de vaciado y toma de muestras.
- Placa de características (ilustración 25)



**Ilustración 25. Placa de características transformador trifásico.**

## 6.2. Documentación oferta

El transformador de potencia es un equipo considerado de **categoría I**. Es un equipo crítico para el proyecto por todas las razones que se han ido identificando hasta este momento del trabajo. Por tanto, el control de documentos y de calidad que le aplica es el considerado en la especificación de calidad como un equipo de categoría I.

En la oferta, según la tabla indicada en el anexo, el suministrador debe presentar la certificación del Sistema de Gestión de Calidad en caso de disponer de él y un PPI preliminar acorde a los requisitos mínimos requeridos por la empresa.

- **Especificación técnica del cliente**: detallada para un transformador de potencia.

La especificación del cliente describe la inspección del transformador enumerando las pruebas a realizar. En este proyecto, se encuentra dentro de la especificación técnica de la subestación. Primero detalla las pruebas en fábrica del transformador divididas en rutina, tipo y especiales, y a continuación describe las características más significativas de cada uno de los componentes del equipo, así como las pruebas correspondientes si se considera necesario.

Las pruebas requeridas de rutina, tipo del transformador son las indicadas en la norma UNE-EN 60076-1:2011. Los tests especiales en este caso hacen referencia a los ensayos dieléctricos en los que cambia la tensión que se asigna como la más elevada para el material ( $U_m$ ), de tal forma.

Las pruebas SAT (Site acceptance test) o lo que es lo mismo las pruebas en sitio, en este caso en la subestación, requeridas para el transformador después de ser instalado son las siguientes:

1. Verificación del montaje correcto y completo del equipo.
2. Verificación del sellado y la solidez de las superficies de porcelana.
3. Verificación de las conexiones a la toma de tierra.
4. Comprobación de los sistemas de control y auxiliares del bobinado y el cableado y todo el equipamiento eléctrico del lado de baja.
5. Test de voltaje de todos los circuitos de baja.
6. Verificación de la operación de refrigerado.
7. Medidas físicas, químicas y eléctricas del aceite tras el filtrado.
8. Verificación de la relación de espiras con la medición de la corriente de carga usando el suministro de baja.
9. Las mediciones de resistencia de bobinados con un registro de la temperatura del aceite y del ambiente.
10. Test de la resistencia del aislamiento.

Aunque cabe destacar que este tipo de pruebas están fuera del alcance de este trabajo y por tanto del responsable de calidad-suministros, pero es un punto importante antes de la puesta en marcha (PEM) del equipo.



Otro punto importante para el cliente es la descripción de los requisitos que deben tener los diferentes elementos:

1. Tanque o cuba: se realizan pruebas para comprobar el vacío y la presión.

Se debe realizar un test a 3 milibares de presión manométrica durante 8 horas y no deben ocurrir fracturas o daño alguno, de tal forma que se comprueba la resistencia del tanque.

Para comprobar la presión, cada tanque del transformador debe ser sujeto a la presión ambiente más 35 kPa. Después de dicho aumento, y tras la posterior disminución, no deben quedar deformaciones permanentes superiores a los valores proporcionados.

2. Ventiladores, motores, tuberías, dispositivos de muestro del aceite y válvulas:

A excepción de válvulas de no retorno, todas las válvulas y dispositivos de muestreo de aceite que están sujetos a la presión del aceite en servicio o durante el mantenimiento deberán resistir, cuando están vacíos de aceite, presión absoluta que no exceda 350 milibares.

En el caso de las válvulas, esta prueba tiene que ser aplicada solamente al cuerpo. Esta prueba tipo posteriormente irá seguida de una prueba de fugas de aceite.

Equipos lleno de aceite: los cuerpos de todas las bombas equipadas con motores sumergidos, si los hubiera, y las tuberías de aceite, dispositivos de muestreo de aceite y válvulas de petróleo deberán resistir una presión hidráulica de 140 kPa durante 15 minutos.

Ventiladores: el equilibrio estático y dinámico se comprobará en todos los impulsores de ventilador.

Motores: las pruebas de rendimiento deben estar de acuerdo con la norma IEC 60034-1, y se aceptarán los certificados de ensayos según dicha norma. Cada máquina debe ser sometida a la prueba siguiente, si procede:

- 2.1.-Medición de la resistencia del devanado (frío).
- 2.2.-Ensayo en vacío a la tensión nominal para la determinación de las pérdidas fijas.
- 2.3.-Una prueba de sobretensión en 1,5 veces la tensión nominal aplicada con la máquina en funcionamiento sin carga, para un período de 3 minutos, para probar el aislamiento.

3. Aceite: en este caso el cliente no solicita nada más que los requisitos de sostenibilidad ambiental comunes a la norma.

4. Relés: el cliente puede solicitar que se realicen test con los relés completamente montados para comprobar las fugas. El relé ha de ser rellenado y

sometido a una presión interna durante un corto período de tiempo, y se tiene que comprobar que se encuentra libre de fugas durante el test.

5. Estructuras: suelen requerir una muestra de cada tipo de estructura de soporte si no han sido previamente testadas. Mediante la colocación de cargas se simulan parámetros de diseño y se comprueba su resistencia.

6. Galvanizado: se realizan pruebas en zonas concretas, dependiendo del suministrador, dado el diferente grado de oxidación que puede concentrarse entre las bornas o aislantes de erosionarse la capa de galvanizado antioxidante.

También es posible que se detalle el transporte hasta la instalación final del transformador.

- **Programa de puntos de inspección**: su contenido tiene la misma estructura que la explicada en el apartado 2 de este capítulo. Se aporta un diseño junto con las pruebas que se deben realizar como mínimo al transformador de potencia:

<b>LOGO EMPRESA</b>			<b>PROGRAMA DE PUNTOS DE INSPECCIÓN (PPI)</b>						<b>LOGO SUMINISTRADOR</b>				
Cliente:						Nº pedido cliente:							
Proyecto:						Nº pedido suministrador:							
Fabricante:						Pág.:		Fecha:		Rev.:			
Equipo:						Identificación doc.:							
ITEM Nº	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN/ PROCEDIMIENTO	FIRMA DE PUNTOS DE INSPECCIÓN									OBSERVACIONES/ COMENTARIOS	
			SUMINISTRADOR			EMPRESA			CLIENTE				
			C.I	FECHA	FIRMA	C.I	FECHA	FIRMA	C.I	FECHA	FIRMA		
<b>1</b>	<b>PREVIO A FABRICACIÓN</b>												
1.1	PPI de fabricación					D							
1.2	Procedimientos de pruebas					D							
1.3	Plan de Calidad					D							
<b>2</b>	<b>RECEPCIÓN DE MATERIAL</b>												
2.1	Arrollamientos					R							



2.2	Cuba					R						
2.3	Bornas					R						
2.4	Chapa magnética					R						
2.5	Mat. Aislante (papel...)					R						
2.6	Armarios					R						
2.7	Líquido aislante					R						
<b>3</b>	<b>FABRICACIÓN</b>											
3.1	Control de la id. componentes y trazabilidad											
3.2	Control bobinado											
3.3	Control secado bobinas											
3.4	Control apilado núcleo											
3.5	Control montaje partes activa					W						
3.6	Secado parte activa											

3.7	Apriete de las bobinas y encubado					R						
4	<b>PRUEBAS FINALES:</b> 4.1 Ensayos tipo 4.2 Ensayos rutina 4.3 Ensayos especiales					H						
5	<b>INSPECCIÓN FINAL</b>					H						
6	<b>AUTORIZACIÓN DE ENVÍO</b>					H						

LEYENDA: Clases de inspección (C.I.)		Notas:	Aprobación final:(fecha/firma)		
D: doc. aprobar antes fab.			SUM.	EMPRESA	CLIENTE
C: requerido certificado					
R: rev. Certificado					
W: pto. aviso	H: pto. espera				

---

- **Oferta.** En este caso hay que recalcar que deben enviar la documentación referente a un equipo de **categoría I**, pero cada suministrador como se explicó en el apartado 3.2 de este capítulo tiene su propio formato e índice. No se diferencian según los equipos pedidos.

### 6.3. Fabricación

En esta fase el suministrador ya ha sido adjudicado por lo que debe volver a enviar la documentación que se ha requerido en fase de oferta.

- **Documentación a revisar entregada por el suministrador:** en la especificación de calidad se detalla que deben enviar procedimientos de fabricación, inspección y pruebas. También las desviaciones y correcciones que se realicen, cuyo contenido mínimo debe tener el alcance, la localización y una acción propuesta y su validación.

- **Tabla de seguimiento de suministradores:** en función del proyecto se crea esta tabla con los apartados indicados en el punto 4.2. Un equipo concreto no aporta nada relevante que no se explique en el resto de los documentos.

- **Programa de Puntos de Inspección (PPI).** El control de calidad del transformador se hace con este documento siguiendo cada uno de los puntos descritos, el cual se ha diseñado concretamente para el transformador de potencia en el apartado 6.2.

El control se inicia con la aprobación de la documentación previa a fabricación: el PPI del fabricante, procedimiento de pruebas y el plan de calidad. Continúa con la revisión de los certificados de la recepción de cada uno de los materiales necesarios para el equipo. Y se procede a la fabricación.

El proceso de fabricación en un transformador de potencia se puede ver en la ilustración 26:



Ilustración 26. Proceso de fabricación de un transformador de potencia.

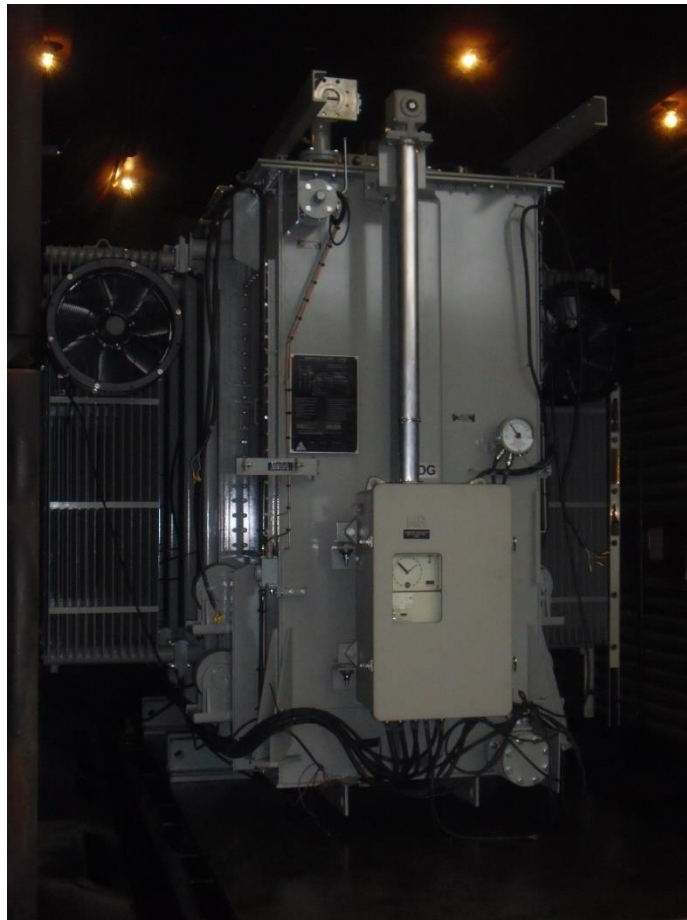
El seguimiento del control de calidad del transformador de potencia siguiendo el PPI establece un punto identificado con una W (witness) en el proceso de fabricación en el ensamblaje de la parte activa. Antes del ensamblaje se realiza una inspección visual y un control dimensional de las bobinas donde se comprueba el diámetro interior y la altura del encaje con el núcleo de las mismas. De esta forma se garantiza

que no han sufrido ninguna deformación en el proceso de fabricación respecto a sus dimensiones de diseño.

Al realizar el ensamblaje del núcleo y las bobinas deben mantener una tolerancia entre ellos, de tal manera que las bobinas queden perfectamente concéntricas respecto al núcleo, ya que si existiera alguna deformación por ejemplo sería difícil la circulación del aceite con el transformador en servicio.

A continuación se procede al tratamiento de secado de la parte activa. Se puede ver en la ilustración 27 el transformador entrando al horno. Este proceso tarda entre 6 y 7 días en el que el núcleo está a 85°C introducido en un horno, consta principalmente de un secado atmosférico y un secado bajo vacío.

Una vez que se rompe el vacío de secado del horno, se procede a su apertura desconectando las sondas de control de temperatura y se saca la parte activa del transformador. El siguiente paso es encolar y apretar todos los elementos que se han retraído por el calentamiento. Tras el proceso de apriete se procede al encubado de la parte activa.



**Ilustración 27. Transformador en el horno para el proceso de secado.**

El encubado consiste en introducir la parte activa en la cuba y cerrar la tapa con la tornillería. Una vez encubado se devuelve a la estufa donde se realiza el vacío de la misma y llenado de aceite hasta cubrir los bobinados.

- **Pruebas FAT (Factory acceptance test):** se detallan algunas de las posibles pruebas que se pueden hacer a los transformadores de potencia.

Ensayos individuales para todos los transformadores:

- **Medida de la resistencia de los arrollamientos:**

En este ensayo se debe registrar la resistencia de cada arrollamiento, los bornes entre los que se mide y la temperatura de los arrollamientos. La medición se debe realizar en corriente continua. Para registrar la resistencia se mide la tensión (V) y la intensidad (A) con la que se halla la resistencia ( $\Omega$ ). También se debe controlar la temperatura.

Variable dadas (unidad)	Dato
Temperatura de referencia ( $t_{ref}$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	75
Temperatura media del aceite ( $t_m$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	42,8

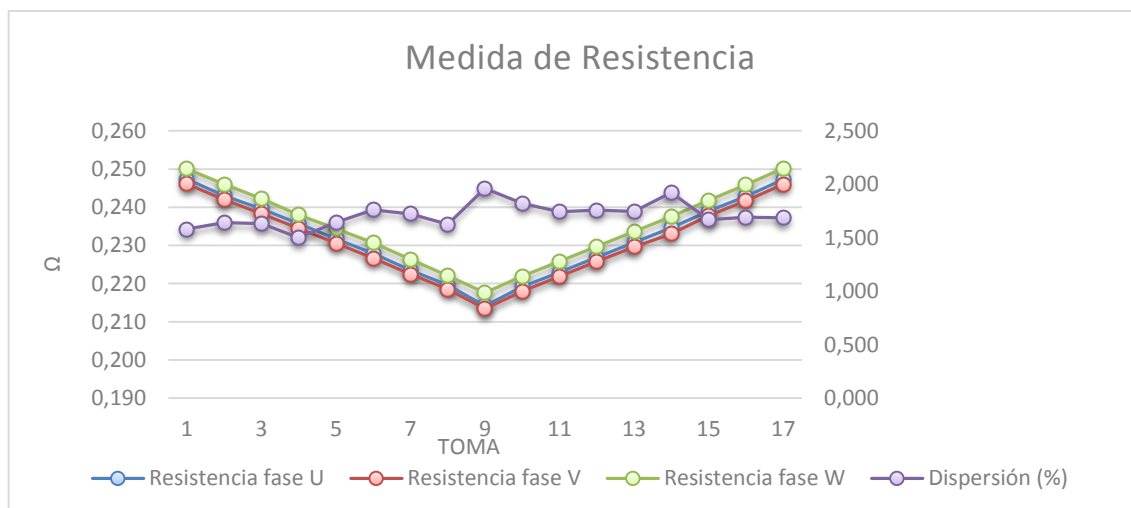
**Ilustración 28. Tabla de datos.**

Pos.	R. entre terminales ( $\Omega$ )			Resistencia media por fase a $t_m$ ( $\Omega$ )	Resistencia media por fase a la $t_{ref}$ ( $\Omega$ )	Dispersión (%)
	1U-2U R ( $\Omega$ )	1V-2V R ( $\Omega$ )	1W-2W R ( $\Omega$ )			
1	0,247	0,246	0,250	0,248	0,277	1,582
2	0,243	0,242	0,246	0,244	0,272	1,642
3	0,240	0,238	0,242	0,240	0,268	1,633
4	0,236	0,234	0,238	0,236	0,263	1,500
5	0,232	0,231	0,234	0,232	0,259	1,645
6	0,228	0,227	0,231	0,228	0,255	1,760
7	0,224	0,222	0,226	0,224	0,250	1,723
8	0,220	0,219	0,222	0,220	0,246	1,627
9	0,214	0,213	0,218	0,215	0,240	1,962
10	0,219	0,218	0,222	0,220	0,245	1,820
11	0,223	0,222	0,226	0,224	0,249	1,744
12	0,227	0,226	0,230	0,227	0,254	1,758
13	0,231	0,230	0,234	0,231	0,258	1,746
14	0,235	0,233	0,238	0,235	0,262	1,923
15	0,239	0,238	0,242	0,240	0,267	1,670
16	0,243	0,242	0,246	0,243	0,272	1,692
17	0,247	0,246	0,250	0,248	0,277	1,687

**Ilustración 29. Datos obtenidos del ensayo de la medida de los arrollamientos.**

La dispersión es el incremento de las resistencias a la temperatura de referencia (75°). Al principio se tienen 42,8°C, que no es una temperatura fría para el aceite, pero no es muy alta si se conoce que el punto caliente para el aceite está en 98°C

Si esa dispersión es casi un 12%, como se puede apreciar en los resultados de la tabla 29, se hará notar en las pérdidas del cobre.



**Ilustración 30. Representación de las resistencias frente a las tomas de carga**

- **Medición de las pérdidas y de la corriente en vacío. Ensayo de vacío:**

El ensayo en vacío proporciona, a través de las medidas de tensión nominal ( $U_{n1}$ ), intensidad nominal ( $I_{n1}$ ) en el arrollamiento primario, las pérdidas en el hierro ( $P_{Fe}$ ) del transformador, dejando abierto el arrollamiento secundario y sin carga. Por lo tanto, coinciden con la potencia absorbida en vacío ( $P_0$ ) por el transformador, ya que por el arrollamiento secundario no circula ninguna intensidad y las pérdidas en el cobre ( $P_{cu}$ ) son despreciables. El ensayo se efectúa normalmente en tensiones inferiores y superiores a la tensión nominal (110%, 90% de  $U_n$ ).

Variable dadas (unidad)	Dato
$U_{n1}$ :Tensión asignada de arrollamiento alimentado (kV)	66
$I_{n1}$ :Intensidad nominal de arrollamiento alimentado (A)	1749,5
Posición cambiador de tomas	9
Temperatura Media del aceite (°C)	58
Frecuencia (Hz)	50

**Ilustración 31. Tabla de datos del ensayo de vacío.**

Según la norma EN 60076-1:2011 se debe medir el valor medio de la tensión con un voltímetro ( $U'$ ), y a su vez también hay que medir el valor eficaz de la tensión ( $U$ ) conectándose en paralelo con el otro voltímetro. La forma de onda de la tensión es satisfactoria si las lecturas de  $U$  y  $U'$  no difieren más de un 3%.

Las pérdidas en vacío medidas son  $P_m$  y las pérdidas en vacío corregidas ( $P_0$ ) se toman como:

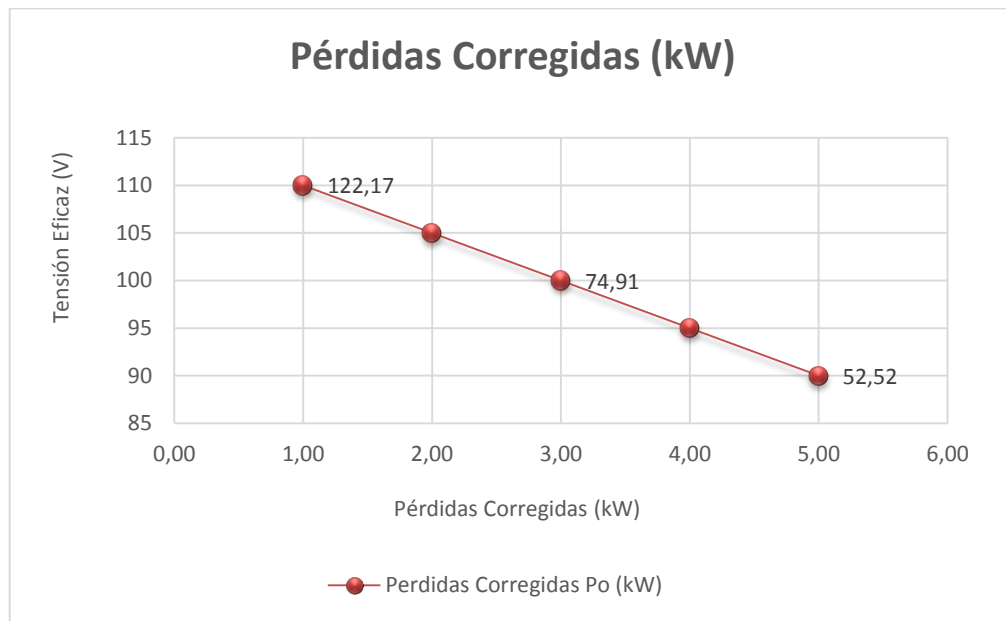
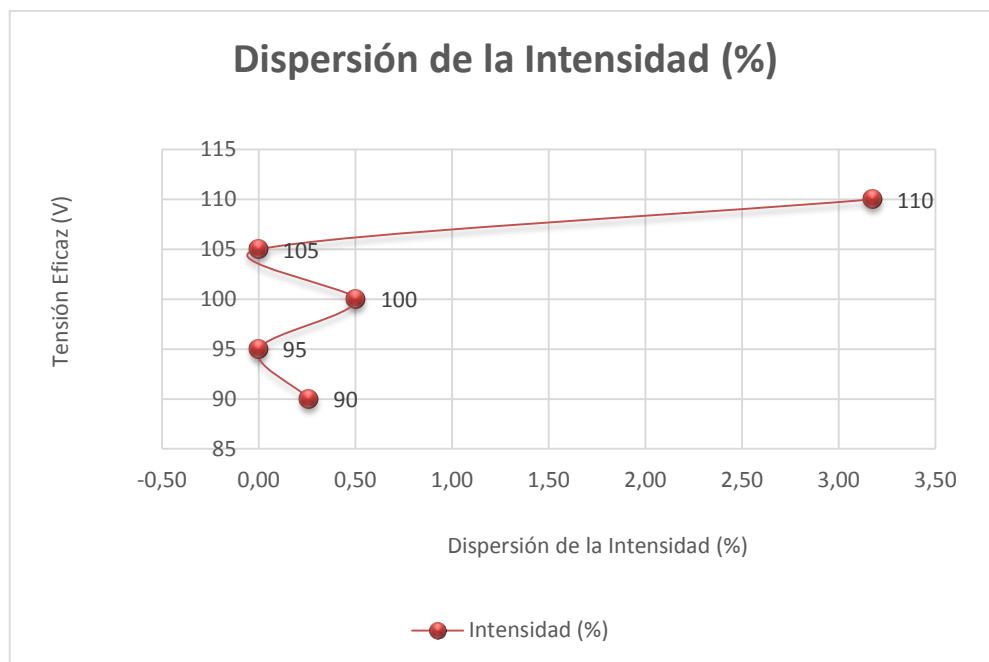
$$d = \frac{U' - U}{U'} \text{ (normalmente negativo); } P_0 = P_m(1 + d)$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla de la ilustración 32:

V (%)	Veficaz U (V)	Vmedio U' (V)	3%	$I_u$ (A)	$I_v$ (A)	$I_w$ (A)	$I_{media}$ (A)	$P_m$ (kW)	$P_0$ (kW)	l (%)
110	12,01	12,104	0,783	51,56	50,088	65,073	55,575	121,23	122,1	3,18
100	10,98	11,002	-0,155	8,152	7,5200	10,876	8,849	74,792	74,91	0,51
90	9,898	9,907	-0,091	3,995	3,9600	5,7980	4,584	52,476	52,52	0,26

**Ilustración 32. Resultados obtenidos del ensayo de vacío**



**Ilustración 33. Tensión eficaz en función de las pérdidas corregidas.****Ilustración 34. Tensión en función de la dispersión de la intensidad.**

- **Ensayos dieléctricos:** estos ensayos se componen de diferentes pruebas cuyo objetivo es asegurar el aislamiento de diferentes componentes del transformador para comprobar que soportan sobrecargas temporales y sobrecargas de conmutación a las que el transformador pueda estar sometido durante su vida. El ensayo es satisfactorio si no se produce ningún colapso en el transformador. Las pruebas pueden ser:

En este caso la tensión asignada como la más elevada para el material ( $U_m$ ), es 245 kV, por lo que los ensayos asignados son:

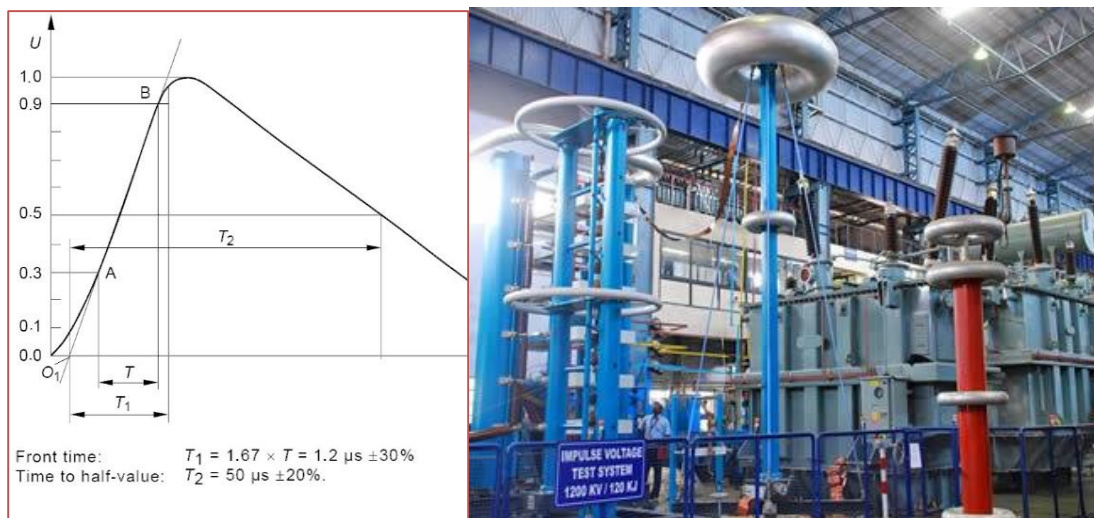
Clase de arrollamiento	Tensión más elevada para el material $U_m$  kV	Ensayos				
		Impulso tipo rayo (IR)  (véanse los capítulos 13 y 14)	Impulso tipo maniobra (IM)  (véase el capítulo 15)	Larga duración con CA (CALD)  (véase el apartado 12.4)	Corta duración con CA (CACD)  (véanse los apartados 12.2 ó 12.3)	Tensión aplicada con CA  (véase el capítulo 11)
Aislamiento uniforme	$U_m \leq 72,5$	Tipo (nota 1)	No aplicable	No aplicable (nota 1)	Individual	Individual
Aislamiento uniforme y no uniforme	$72,5 < U_m \leq 170$	Individual	No aplicable	Especial	Individual	Individual
	$170 < U_m < 300$	Individual	Individual (nota 2)	Individual	Especial (nota 2)	Individual
	$U_m \geq 300$	Individual	Individual	Individual	Especial	Individual
NOTA 1 – En algunos países, para transformadores con $U_m \leq 72,5$ kV, los ensayos con IR se requieren como ensayos individuales y los ensayos con CALD se requieren como ensayos individuales o de tipo.						
NOTA 2 – Si se especifica un ensayo con CACD no se requiere el ensayo con IM. Esto debe establecerse claramente en la petición de oferta.						

**Ilustración 35. Tabla de datos de la norma UNE-EN 60076-3**

- **Ensayo de tensión aplicada con CA:** el objeto es asegurar que el aislamiento entre los arrollamientos y el aislamiento entre arrollamientos y partes conectadas a tierra, soporten una sobrecarga temporal y sobrecarga de conmutación que puedan ocurrir en servicio.

- **Ensayo de tensión inducida:** este puede ser de corta duración o de larga duración tal y como indica la tabla anterior. Para una tensión  $U_m > 72,5$  kV, como es el caso, el ensayo se desarrolla normalmente con medida de descargas parciales.

- **Ensayo de impulso tipo rayo (IR):** se deben efectuar en arrollamientos cuyos bornes salen a través de la cuba o la tapa del transformador. Consiste en un impulso normalizado tipo rayo:  $1,2 \mu s \pm 30\%$  /  $50 \mu s \pm 20\%$ . En la ilustración 37 se muestra el momento del test en fábrica, así como una gráfica de representación del impulso.



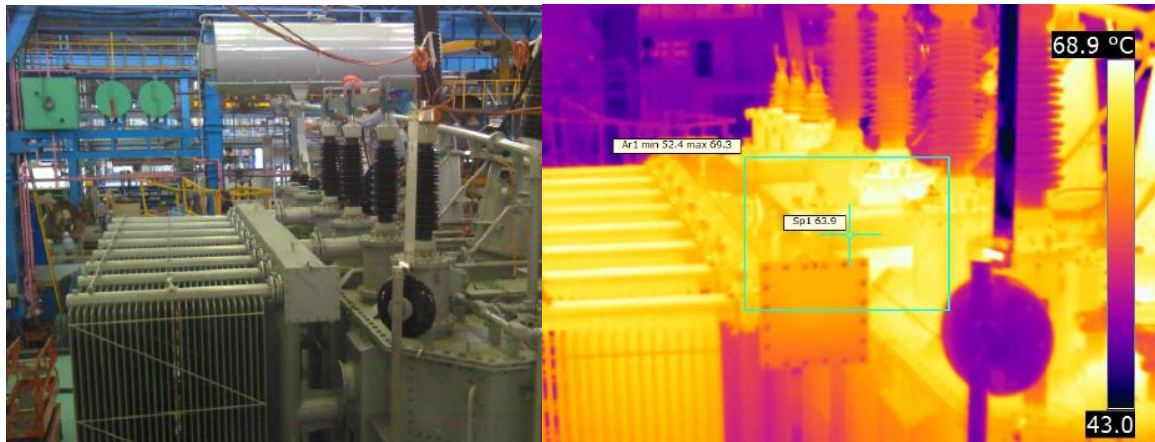
**Ilustración 36. Gráfico de impulso tipo rayo (sin escala- izquierda). Test en fábrica (derecha)**

Por otro lado, en ocasiones se realiza un ensayo de termografía que permite determinar el estado de un transformador desde el punto de vista térmico en cuanto a: bornas, CTC, radiadores, cuba, motores, ventiladores...

En las ilustraciones 38 y 39 se pueden ver diferentes partes del transformador junto con su imagen térmica correspondiente en la que se buscan puntos calientes que excedan la temperatura permitida durante el ensayo de calentamiento realizado en fábrica:



**Ilustración 37. Transformador durante el ensayo de calentamiento (izda.) y su imagen térmica (dcha.)**



**Ilustración 38. Detalle de los aislamientos cerámicos del transformador (izda. ) y su imagen térmica (dcha.)**

En la ilustración 39 se observa como el aceite solo llega hasta las bases de los aisladores cerámicos, así como circula por los radiadores refrigerando el fluido. Hay sondas en el interior y exterior del transformador de las que se están tomando las temperaturas. A su vez el transformador está sometido a la tensión nominal, de ahí que las fases de baja tensión tengan su base a la mayor temperatura.

Para terminar este segundo capítulo se muestra en la ilustración 40 el **diagrama de procesos del aseguramiento de la calidad completo**. En el que se unen las tres fases anteriormente explicadas y detalladas en los puntos 3, 4 y 5 de presente capítulo. Es el producto final del segundo objetivo que pretende que se pueda visualizar, “con un golpe de vista” todo el proceso de aseguramiento.

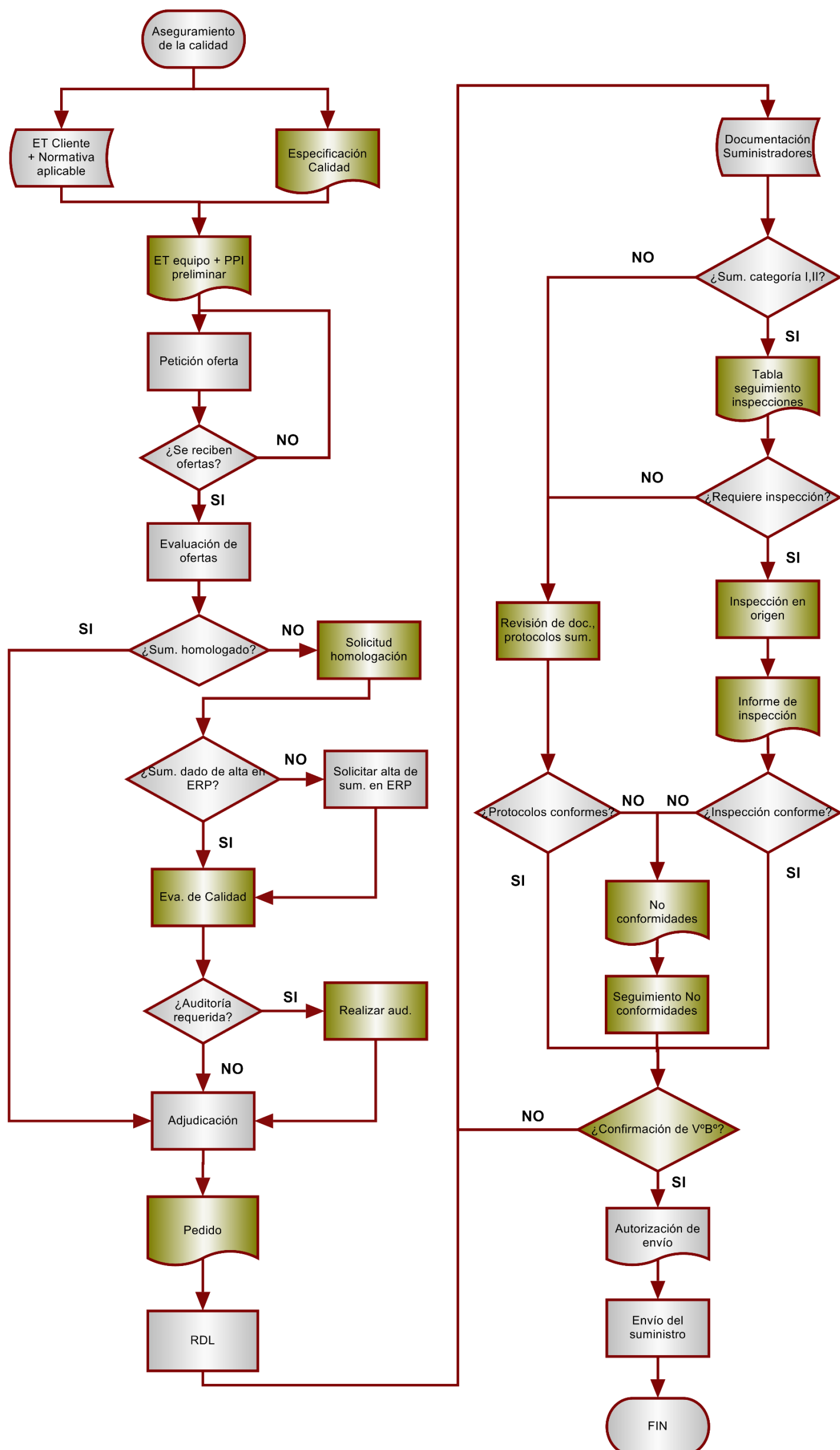


Ilustración 39. Diagrama de procesos para el aseguramiento de la Calidad

## **Cap. 3 Registro y análisis de suministradores**

### **1. Introducción**

Este capítulo es un tanto diferente a lo visto hasta ahora. Se trata de desarrollar el tercer objetivo de este TFG explicado en el capítulo 1 que consiste en registrar a los suministradores para establecer un control y seguimiento de los mismos según exige la norma ISO 9001:2008.

El capítulo tiene dos partes, la primera trata de presentar dos herramientas tipo que se deben utilizar para registrar a los suministradores: un sistema de planificación ERP y una base de datos desarrolladas en el punto 2 de este capítulo. Son dos medios con diferentes objetivos, donde quizá el sistema de planificación es casi imprescindible hoy en día para llevar a cabo un correcto funcionamiento.

En cambio la segunda parte está enfocada a qué hacer con la información archivada, cómo se realiza un control y seguimiento de los suministradores con lo que ya se ha trabajado, qué se puede medir y qué conclusiones extraer, qué tipo de reclamaciones se pueden dar.

### **2. Registros en herramientas tipo**

#### **2.1 Introducción BB.DD. y ERP**

Una base de datos es una herramienta informática en la que se archiva la información de manera organizada de forma que un programa de ordenador puede seleccionar rápidamente los fragmentos de datos que necesite. En el contexto de este TFG se aplica para el seguimiento y control de la calidad.

Suele organizarse con campos, registros y archivos. Un campo es una pieza única de información, un registro es un sistema completo de campos, y un archivo es una colección de registros.

Esta base de datos tiene dos funciones dentro de una empresa que tenga implantado el Sistema de Gestión de Calidad, como se expuso en el contexto de este TFG es un requisito para las empresas que deseen adquirir un equipo, son las siguientes:

- Cumplir con la norma ISO 9001 de Sistemas de Gestión de Calidad, que exige en el punto 7.4 la evaluación y la selección de los proveedores, y en el punto 8. Medición, análisis y mejora. Para analizar debes tener datos que manejar.
- Fuente de información e historial de los suministradores, entre otros, que han trabajado con la empresa. Por ejemplo, se acaba un proyecto y se quiere volver a trabajar con el mismo suministrador tres años más tarde, se pueden encontrar las incidencias ocurridas aquí documentadas.



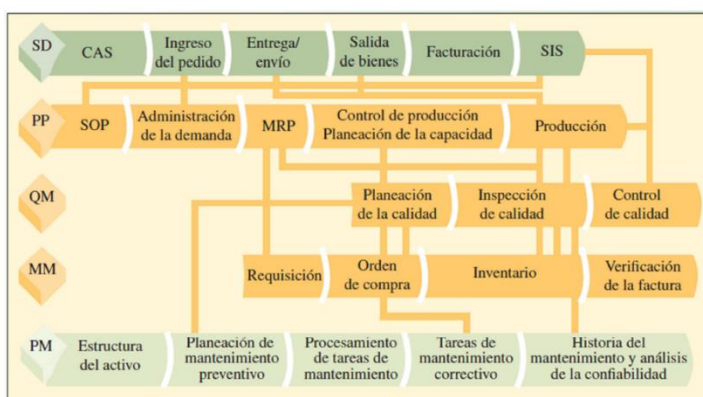
Esta base de datos es utilizada por el personal del departamento de Calidad.

El ERP (sus siglas en inglés Enterprise resource planning) es un sistema de información construido sobre una base de datos centralizada en la empresa, que permite la gestión integrada de todas las áreas funcionales de la empresa: contabilidad y finanzas, comercial, RRHH, operaciones...

Es decir, sirve para la planificación de recursos de la empresa. Son sistemas que proporcionan el rastreo transaccional y la visibilidad global de la información de cada parte de la empresa y su cadena de suministro, permitiendo la toma de decisiones.

Tiene una estructura modular, con datos compartidos. Por ejemplo, controla el material recibido, los pedidos de compra, las programaciones de envío, los inventarios de artículos acabados y otra información a través de la organización completa. Los ERP realizan un seguimiento de los pedidos a través de la empresa entera, desde la provisión a la entrega.

Como se puede ver en la ilustración 40 aparece un módulo directamente de calidad QM.



**Ilustración 40. Estructura modular ERP**

Este sistema está relacionado con la base de datos anterior, debido a que las incidencias más importantes y significativas que son necesarias que conozca toda la empresa, y no solo el personal del departamento de Calidad, se documentan en esta herramienta también.

En este caso tienen acceso desde los diferentes departamentos que conforman la empresa para que el acceso a la información sea lo más completa y fluida posible.

## 2.2 Registros en las herramientas

Esta base de datos se utiliza para archivar no conformidades (NC). Son aquellas que se han mencionado en el punto 4.2 del capítulo anterior, que describe la fase de fabricación del diagrama de procesos de Calidad.

Se entiende por no conformidad el incumplimiento de un requisito. Puede tratarse de incumplimientos técnicos, documentales, legales, etc. Según sea el grado de incumplimiento pueden dividirse en:

- Desviación (D): Incumplimiento sistemático y extenso de un requisito establecido en los procedimientos y demás documentación aplicable a una actividad o proceso.

Este primer grado se traduce en no llevar a cabo una acción o tarea repetidas veces que se encuentra establecida de una manera concreta por la organización o cliente. Suele tener consecuencias más graves más allá de la acción concreta no realizada.

- Observación (O): Incumplimiento puntual que requiere atención pero no tiene la trascendencia de la categoría anterior.

En este caso, es una acción determinada en un momento concreto, que no se ha repetido con anterioridad, y puede suceder de forma puntual o aislada.

También hay recomendaciones (R) que son oportunidades de mejora propuestas para perfeccionar un proceso. Forman parte de la mejora continua establecida en una empresa, pueden seguirse o no en el momento de su propuesta según considere conveniente la persona implicada.

Las no conformidades pueden ser detectadas durante el desarrollo de los proyectos, el análisis de los indicadores, en cualquier actividad de control o inspección, en auditoría (interna o externa). Pueden ser detectadas tanto por personal de empresa, como por organismos de certificación o clientes. En este trabajo, se expondrán algunos ejemplos de desviaciones ocurridas en inspecciones de transformadores de potencia en el siguiente apartado 2.3.

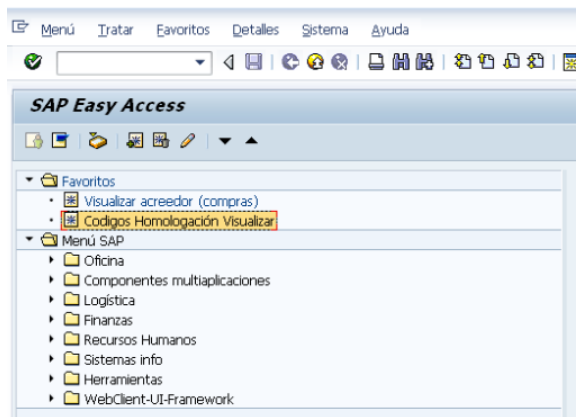
Una no conformidad debe contener una información mínima para que pueda ser caracterizada, tal como:

- Codificación
- Descripción de la no conformidad
- Clasificación
- Fecha de apertura
- Organización responsable de resolver la no conformidad
- Análisis de la causa raíz de la no conformidad
- Seguimiento de la no conformidad
- Solución propuesta: que detalle si se trata de una corrección y/o acciones correctivas y preventivas.
- Fecha prevista de cierre
- Cierre (comprobaciones realizadas de la eficacia de las acciones implantadas)
- Fecha de cierre definitivo

El personal del departamento de Calidad interviene en el ERP con el registro de los suministradores tal y como se explica en el proceso de homologación del punto 3.3 explicado en el capítulo 2. Es un proceso común para todos los suministros de



empresa, lo que implica que el procedimiento es el mismo para cualquier tipo de proyecto.



Un sistema ERP muy conocido y actual en el mercado es el SAP®. A continuación se muestran unas imágenes de cómo queda registrado el estado de homologación de un proveedor en la ilustración 43 y el acceso para visualizarlo, marcado en la ilustración 42 con “Códigos homologación visualizar”:

**Ilustración 41. Pantalla acceso a SAP ®**

Estas herramientas que se describen en el apartado 2.2 proporcionan mucha información que se puede analizar de tal manera que sirva de mejorar y cambiar acciones que se han realizado y no se han obtenido todos los beneficios que se esperaban.

Descripción	Gr. Articul...	Descripción Gr.Art.	Co...	Desc. Cod Homol.
Compra de materiales	GENERAL	Grupo general	01	SIN HOMOLOGAR

**Ilustración 42. Estado de homologación proveedor**

### 2.3 Consultas e informes

Con la base de datos se pueden obtener informes de cada suministrador por separado que contenga todos los puntos enumerados anteriormente a modo de resumen. Si se utilizan filtros se pueden obtener según las fechas, las desviaciones, observaciones o recomendaciones, según el tiempo que lleven abiertas... Todos esos filtros ayudan a que posteriormente se puedan analizar resultados para evaluar el trabajo de cada suministrador y la confianza que se puede depositar en ellos. Por ejemplo, si se necesita un suministrador para un proyecto crítico en plazos, se tendrá que elegir un suministrador que cumpla periódicamente. Con estos informes se puede analizar y saber cuáles de los suministradores habituales serán más fiables.

A modo de ejemplo con el equipo utilizado en este trabajo, el transformador de potencia, se detallan dos desviaciones ocurridas en inspecciones:

- *Codificación:* TP14-ND-07-276652-0001
- *Descripción:* Tapón de vaciado total. Dada la inclinación del transformador, el tapón de vaciado total debería estar situado en el lado más bajo, es decir, el lado opuesto al depósito de expansión. En este caso esto no es así, como se puede visualizar en la ilustración 44.
- *Clasificación:* Desviación (D).
- *Fecha de apertura:* 14-07-2014
- *Organización responsable de resolver la no conformidad:* Telecomunicaciones
- *Análisis de la causa raíz de la no conformidad:* Pendiente de estudio.

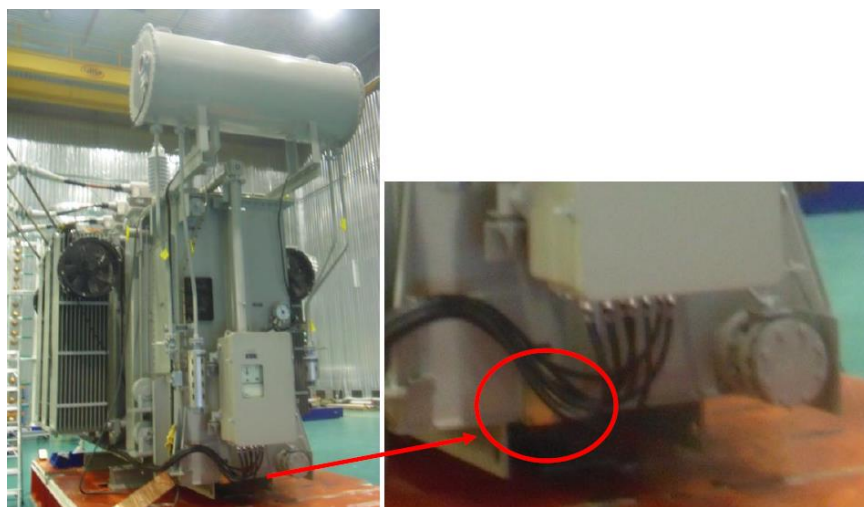
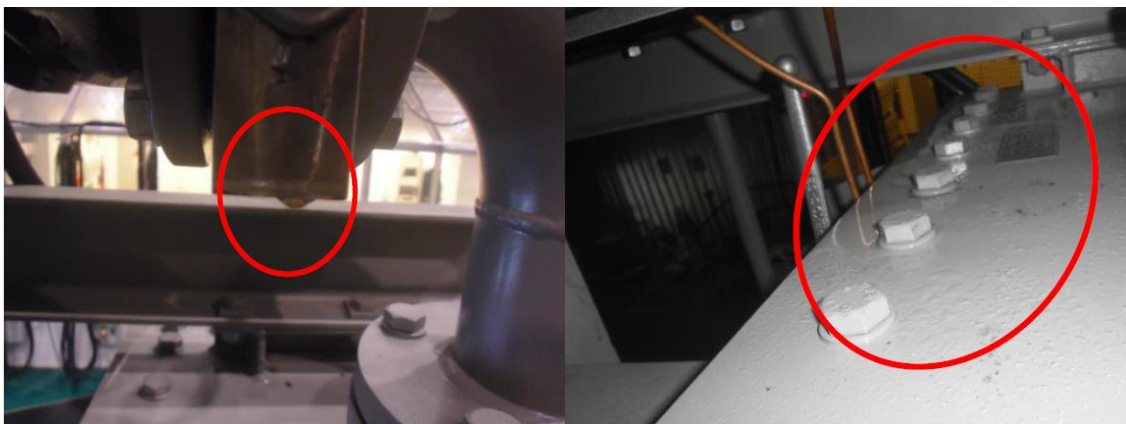


Ilustración 43. Tapón de vaciado total del transformador.

- *Seguimiento de la no conformidad:* No se han realizado seguimientos.
- *Solución propuesta: que detalle si se trata de una corrección y/o acciones correctivas y preventivas:* Se sitúa el tapón en el lado más bajo. Se solicita permiso al cliente para el cambio en los planos, tal y como se ha situado en la máquina.
- *Fecha prevista de cierre:* 14-09-2014
- *Cierre (comprobaciones realizadas de la eficacia de las acciones implantadas):* Se procede al cierre definitivo en la fecha prevista con la firma de los planos y la conformidad de ambas partes.

A continuación se describe la otra desviación ocurrida con el mismo transformador:

- *Fecha de cierre definitivo:* 14-09-2014
- *Codificación:* TP14-ND-09-276652-0002
- *Descripción:* Fuga de válvula de independización cuba – depósito (BUCHHOLZ). Se detecta una fuga de aceite en la válvula de independización del depósito con la cuba, como se muestra en la ilustración 45. Esta fuga, se desplaza hasta el borde de la tapa, bajando a través del cable hasta el suelo.
- *Clasificación:* Desviación (D)
- *Fecha de apertura:* 04-09-2014
- *Organización responsable de resolver la no conformidad:* Telecomunicaciones
- *Análisis de la causa raíz de la no conformidad:* Fallo en la fabricación.



**Ilustración 44 Detalle de fuga de aceite.**

- *Seguimiento de la no conformidad:* Se ha realizado otra prueba antes de situarla definitivamente en la instalación y se ha comprobado que existe goteo desde la válvula entre depósito y Bucholz. Problema no resuelto.
- *Solución propuesta: que detalle si se trata de una corrección y/o acciones correctivas y preventivas:* Se vuelve a montar después de la inspección la válvula de independización depósito-máquina y no ha existido problema de fugas de aceite. No obstante, y sabiendo que todavía queda pendiente montarla definitivamente en la instalación, se extremará la precaución cuando se vaya a proceder a ello y se realizará un seguimiento exhaustivo.
- *Fecha prevista de cierre:* 24-11-2014
- *Cierre (comprobaciones realizadas de la eficacia de las acciones implantadas):* Continúa abierta.
- *Fecha de cierre definitivo:* Continúa abierta.

También una vez realizado el seguimiento, como se verá en el apartado 3.2 del siguiente apartado, los proveedores se pueden clasificar según las notas obtenidas en calidad, plazo. Se puede generar un ranking de proveedores según el equipo suministrado clasificado con las notas obtenidas.

De tal forma que se pueden conocer sus puntos fuertes, a la vez, que analizar si compensa pagar un precio a un suministrador que encabeza la lista, cuando el tercero, es casi igual y con una diferencia de coste muy grande.

Para terminar, se pueden utilizar ambas bases de datos, y a la vez que se genera el número de no conformidades que ha obtenido un suministrador, si tiene buena nota por ejemplo, en calidad será porque aunque se hayan generado desviaciones durante el aseguramiento de la calidad del equipo, han sido resueltas de manera rápida y eficaz.

### **3. Análisis de suministradores**

#### **3.1 Estadística y evaluación de indicadores.**

La información recogida en las herramientas explicadas en el apartado 2 de este capítulo debe ser analizada para poder obtener un rendimiento de este tipo de aplicaciones, además de potencia su uso con resultados de mejora.

Este análisis se lleva a cabo mediante indicadores. Son números que representan la descripción de un proceso o subproceso. Es la forma de medir con claridad resultados obtenidos del uso de herramientas o programas informáticos.

En este caso se pueden definir indicadores de muchos tipos. Respecto al plazo, al cumplimiento de requisitos, número de inspecciones, transporte, relación con el interlocutor del suministrador entre otros.

Por ejemplo, si se mide el número de homologaciones a suministradores que se ha hecho en un año, mediante el subproceso de homologación explicado en el apartado 3.2 del capítulo anterior, y se compara con registros de años anteriores. Si el número es muy superior al del año anterior, se indica claramente que se ha trabajado con mayor número de suministradores nuevos.

Si además se pueden comparar las auditorías de homologación que han sido necesarias en estos casos, y nuevamente se verifica que es un número elevado. Se puede demostrar que se están eligiendo proveedores en el proceso de evaluación de ofertas que no ofrecen garantías previas sobre la calidad de sus servicios, ya que son desconocidos para la empresa por no tener referencias anteriores. Por lo tanto, se concluyen dos cosas: el coste de estas auditorías deben sumarse a las de las inspecciones y actividades de seguimiento de los mismos, que no siempre se tienen en cuenta. Y también que el director de proyecto asume un riesgo adicional en el proyecto, ya que no se sabe cómo se va a desarrollar la relación y trabajos con estos nuevos suministradores.

### 3.2 Seguimiento y control del proceso.

El objetivo del seguimiento a los suministradores es evaluar su comportamiento. De tal forma que se pueda actualizar el estado de homologación en el sistema de información implantado para ello y documentar deficiencias en el desempeño de los trabajos para que quede constancia en futuros proyectos. De ahí la importancia de un sistema de recogida de datos en común para toda la empresa.

Una forma de realizar este seguimiento es con una valoración numérica de puntuación de 1 a 10, del producto o servicio prestado en lo relativo a calidad y plazos. Si el suministro conlleva obra civil, montaje, puesta en marcha y operación y mantenimiento, entonces además de calidad y plazos se valora el cumplimiento desde el punto de vista ambiental y de seguridad. Las valoraciones posibles son los siguientes rangos de numeración:

- 10-9: suministro por encima de las expectativas
- 8-7: suministro bueno
- 6-5: suministro con incumplimientos menores
- 4-3: suministro con incumplimientos medios
- 2-1: suministro con incumplimientos graves

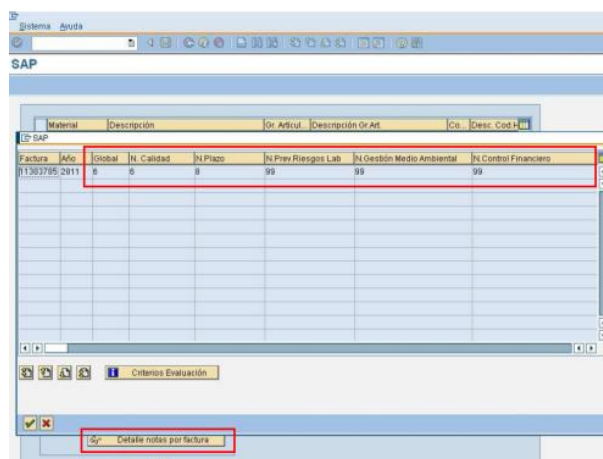
Se entiende por incumplimientos menores, medios y graves según se obtengan, durante todo el proceso de aseguramiento de la Calidad con el suministrador, un

número total de no conformidades, y en menor medida, según sean desviaciones u observaciones.

Además se evalúa financieramente el suministro mediante la asignación de las siguientes calificaciones:

- 10: Si no hay cambios en las condiciones de pago del pedido o sólo se han solicitado adelantos de pago justificados.
- 6: Si ha solicitado un adelanto no justificado (debidos a operativa interna del suministrador, pero habiendo realizado los trabajos).
- 3: Si ha solicitado más de un adelanto no justificado (debidos a operativa interna del suministrador, pero habiendo realizado los trabajos).
- 0: Si ha solicitado adelanto de pago sin realizar los trabajos y sin estar estipulado en el contrato (necesidad de financiación).

La valoración se pondera con el volumen económico de cada factura. La nota de un proveedor se obtiene de modo instantáneo con la ponderación en el período elegido (18 meses normalmente) en cualquier de los conceptos: calidad, plazos, financiero... Cuando la nota media ponderada esté por debajo de 3 puntos en cualquiera de los conceptos (mínimo 3 notas), se procede al **bloqueo** del proveedor. Este bloqueo supone que no es posible emitir pedidos de compra a este proveedor.



Material	Descripción	Dr. Articul.	Descripción Dr. Art.	Co.	Cuentas	Cost.
Factura	Año	Global	N. Calidad	N. Plazo	N. Prev Riesgos Lab	N. Gestión Medio Ambiental
11.903795.2011	11	6	8	8	99	99

**Ilustración 45. Detalle de notas por factura en SAP.**

Si la herramienta detecta una puntuación en cualquiera de los conceptos inferior a 5 puntos para un suministrador, automáticamente envía un aviso al departamento de Calidad. El departamento estudiará las causas y tomará acciones si son necesarias. Una de las acciones es documentar el campo denominado avisos, y pudiendo llegar a modificar la homologación del suministro en cuestión si procede.

De nuevo se muestran imágenes de la herramienta SAP® en la que se pueden ver las notas asignadas a un suministrador. El campo en esta herramienta es detalle notas por factura, como se muestra en la ilustración 46.

En el ejemplo mostrado el suministrador considerado ha obtenido las valoraciones de 6 y 8 para los conceptos de calidad y plazo, respectivamente.

La incorrecta valoración de un suministrador puede suponer que se repitan problemas en futuros suministros ya que no quedan registrados los incumplimientos en suministros previos y no se pueden analizar las causas de dichos problemas para proponer soluciones o cambios de proveedor, por eso este proceso es tan importante y se debe controlar el cumplimiento del mismo.

### 3.3 Reclamación a proveedores / de clientes

Las reclamaciones son aquellos documentos en los que se pide o exige algo a lo que se tiene derecho. Es decir, es una manifestación del cliente en la que muestra su insatisfacción por un bien o servicio defectuoso y/o mal recibido en la que, además, demanda la sustitución del producto, la mejora recepción del producto y/o una indemnización económica.

Es muy diferente el punto de vista según sea a un proveedor, porque es realizada por la empresa o por parte de un cliente ya que viene dada por éste. Estos elementos forman parte del proceso de satisfacción al cliente que todo Sistema de Gestión de Calidad debe tener muy cuenta.

Las reclamaciones también deben documentarse en una base de datos como la explicada en el punto 2.1, de tal forma que acceder a los datos sea mucho más fácil, manejable y rápido.

Una reclamación supone a un suministrador o/y empresa un coste no previsto, y por tanto, una pérdida imprevista. Además el cliente siempre espera una resolución favorable a sus intereses y que sea resulta lo más rápido posible.

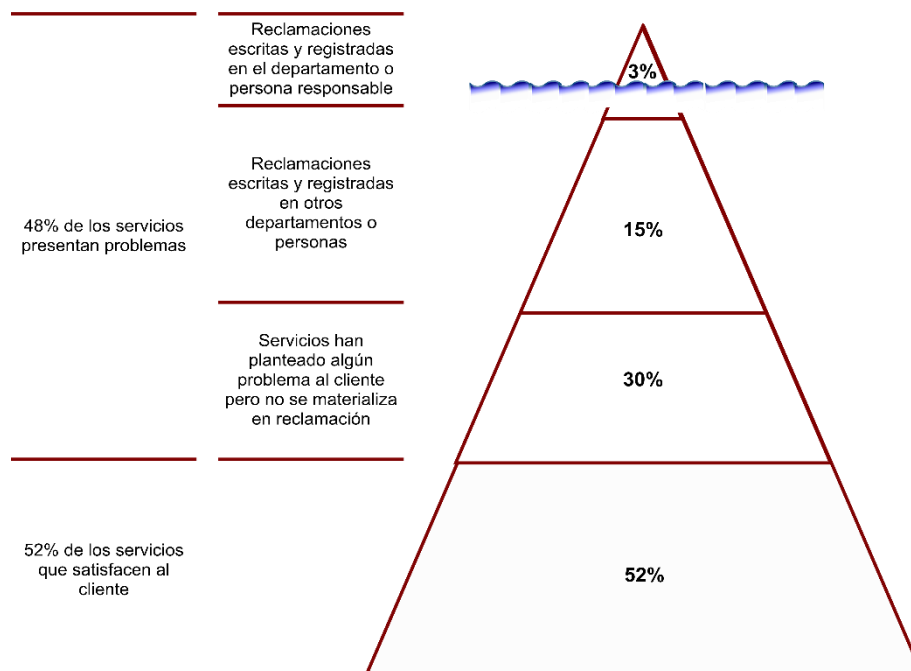
A continuación, se muestran los resultados en la ilustración 47 de las conclusiones de una investigación sobre los porcentajes de servicios que motivan insatisfacción y reclamaciones. Su representación gráfica muestra que los hechos conocidos en la empresa son una parte muy pequeña de la situación real (3%). Si se analizan las conclusiones que aparecen marcadas en la ilustración se deduce que: el total de reclamaciones y clientes insatisfechos es 15 veces mayor que lo que conoce Dirección (ese 3% que está registrado en la base de datos correspondiente asignada en la empresa).

También se saben las probabilidades de que un cliente repita, o probabilidad de recompra según las condiciones de la pirámide anterior:

- 92% en clientes que se encuentran en el 52% anterior de clientes satisfechos.
- 78% en aquellos que no han reclamado en el 30% anterior como clientes parcialmente satisfechos.
- 91% en clientes insatisfechos que han reclamado y saben que ha sido correctamente procesada. Sorprende que sea el mismo porcentaje que un cliente satisfecho.



Del estudio se concluye, que la razón más poderosa de insatisfacción es sobre la que el suministrador tiene mayor capacidad de control: “La calidad de atención al cliente”. Es un factor muy importante al que normalmente no se le presta toda la atención que necesita, ni se utilizan todos los recursos disponibles para ponerla en marcha. Además que suele ser un factor que no conlleva apenas inversión y es fácil y rápido de atajar.



**Ilustración 46. Representa el % de servicios que motivan reclamaciones**

El sistema descrito en el apartado 2 de este capítulo proporciona una herramienta para resolver las no conformidades, como se ha explicado, y además evita adjudicaciones a proveedores que ya han causado reclamaciones. Por tanto, se convierte en un ahorro de costes y mejoras en el proyecto que se podrían convertir en beneficios.

Desde el punto de vista de las reclamaciones realizadas por los clientes, este sistema trata de garantizar que no se produzcan, detectándolas y resolviéndolas por medio de auditorías, inspecciones, en definitiva herramientas para el control de los procesos que son capaces de detectar cualquier incumplimiento de requisitos y lo que es más importante trata de buscar una solución y aplicarla de manera generalizada.

Lo más importante es conseguir aprender de los errores e ir mejorando para próximos proyectos habiendo corregido los fallos que se han cometido en otros.



## Cap. 4 Planificación y presupuesto

Para realizar la planificación del proyecto que se define en este Trabajo Fin de Grado (TFG) se ha utilizado la herramienta informática **Microsoft Project®**. Esta herramienta permite programar un proyecto mediante un desglose de tareas.

Se ha realizado una planificación global del proyecto de la subestación, en la ilustración 48, para el que también se definieron herramientas concretas en el capítulo 1. En ella se han definido las distintas tareas de las que está compuesto el proyecto con una duración aproximada para cada una de ellas. La duración total del proyecto es de un año y medio aproximadamente.

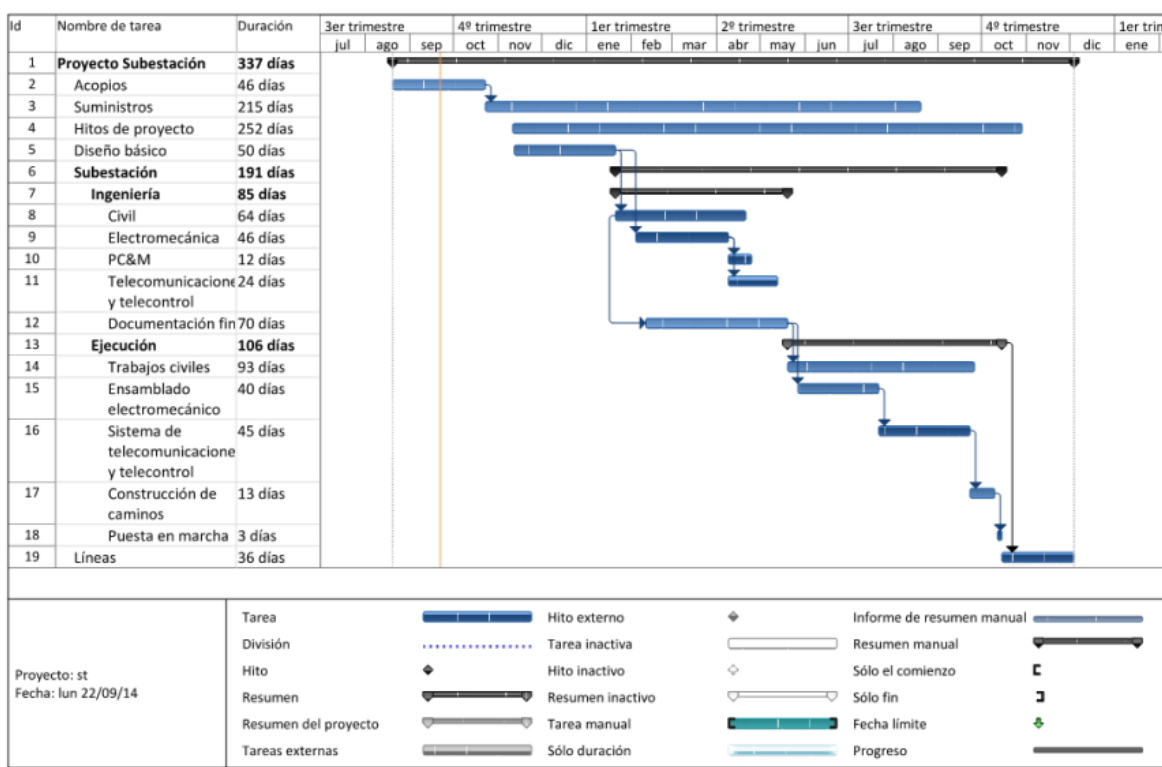


Ilustración 47. Planificación Subestación eléctrica

Este proyecto está compuesto por una subestación y unas líneas que conecten la subestación al sistema de distribución eléctrico correspondiente. En la subestación se debe elaborar la ingeniería así como ejecutar los trabajos en obra.

A la derecha de la planificación se puede ver el diagrama de Gantt, en el que gráficamente se identifican las tareas rápidamente, además de saber cuál precede a la otra e incluso llegar a dibujar el camino crítico del proyecto. Por el cual, no se puede retrasar ninguna tarea si se quieren llegar a cumplir los plazos establecidos contractualmente.

[illegible]

**Ilustración 48. Planificación Transformador de Potencia.**

Las actividades se han dividido en tres bloques principales que corresponden a los hitos más importantes de los que se compone el aseguramiento de la Calidad: oferta, fabricación y autorización de envío, como se muestra en la ilustración 49. Se engloban dentro de la ingeniería de detalle, en la tercera etapa de control y seguimiento del proyecto global, en este caso la subestación eléctrica.

También se ha utilizado el diagrama de Gantt para representar gráficamente la duración del aseguramiento de la calidad del transformador desde que se realiza la documentación para iniciar la petición de oferta en el mercado del equipo hasta su transporte a la instalación desde fábrica, incluyendo las pruebas SAT (Site Acceptance Test). Todo ello conllevaría un total de casi 5 meses de duración.

Por otro lado también hay que cuantificar el dinero que costaría el aseguramiento de un equipo eléctrico como es el transformador de potencia, con cantidad de documentación específica acerca de cada una de las características de las que se componen todos los equipos que lo forman así como las pruebas que hay que realizar a todos ellos. Antes se van a dar una serie de definiciones necesarias para poder entender el presupuesto que se quiere explicar:

Los Costes Totales de Calidad son el conjunto de los Costes de Calidad y Costes de No Calidad. Normalmente los costes conocidos son los de calidad, en cambio, lo mayores son los de no calidad. ¿Cuándo se producen? Se incurre en costos de mala calidad, entre otros, en los siguientes casos:

- Al no suministrar “calidad de producto o servicio”
- Si no se produce al coste adecuado.
- Cuando no se entregan las cantidades solicitadas, en el lugar requerido y en el momento deseado por el cliente y/o suministrador.
- Cuando una oferta no es aceptada por el cliente, porque no satisface sus necesidades, la empresa debe ser consciente de que en ese caso ha trabajado sin calidad.

Se pueden definir según H.J. Harrington, uno de los investigadores que más ha profundizado en este tema, como “los costes en que la empresa incurre para hacer posible que su personal haga bien su trabajo siempre a la primera más el coste de determinar si la producción es aceptable; se incluyen también los costes de reparaciones por incurrir en fallos”.

En la ilustración 50 se presenta un gráfico de la clasificación que se le puede dar a los diferentes costes que se consideran hoy en día:

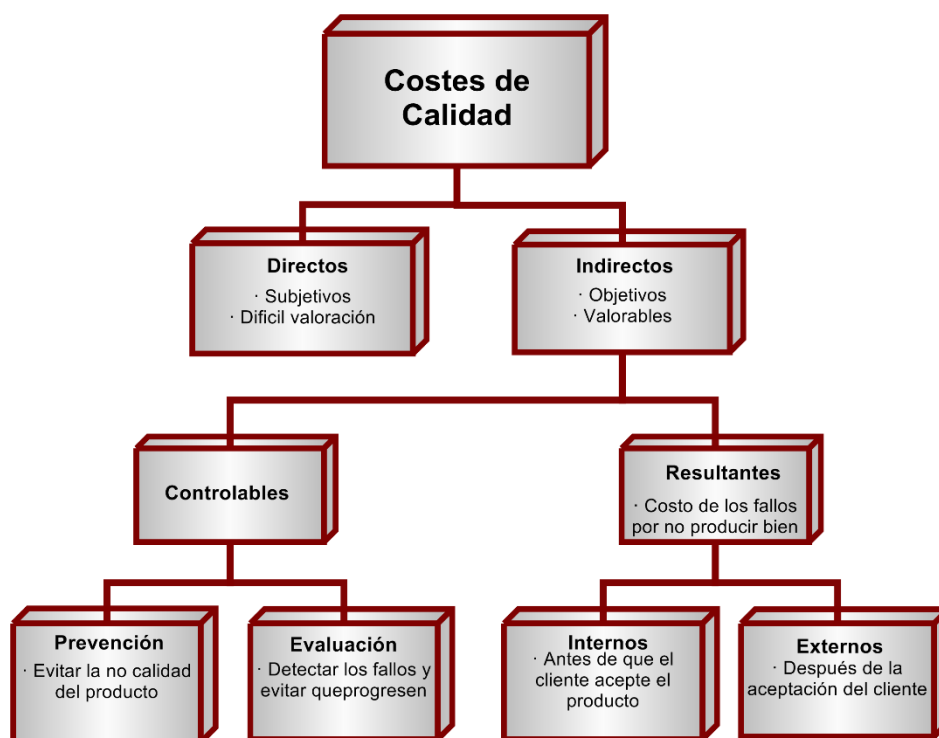


Ilustración 49. Clasificación de los costes

Los Costes de Calidad están formados por costes de prevención y evaluación, clasificados como indirectos y controlables, mientras que los Costes de No Calidad son aquellos derivados no conformidades, de fallos (internos y externos) que cuestan dinero a la empresa, en definitiva, costes que se podrían evitar que se encuentran dentro de los indirectos resultantes:

- Costes de prevención: aquellos que se utilizan para evitar la mala calidad del producto atacando el problema en origen. Normalmente están relacionados con las actividades planificación, formación del personal, trabajos de mejora de bienes, así como la obtención y análisis de datos.
- Costes de evaluación: costes de ensayo, inspección y examen necesarios para evaluar si se mantiene la calidad especificada en proyectos. Se trata de detectar los problemas y evitar que progresen durante el proceso o que salgan de la empresa. Son aquellos relacionados con las actividades de verificación, control y ensayos, tanto en fábrica como de la documentación.
- Costes de fallos internos: coste resultante de un bien o servicio que no cumple los requisitos de calidad, no se realizan las cosas bien a la primera, y cuyo fallo se pone de manifiesto antes de la entrega al cliente. Se refieren a reprocesos, trabajos de reelaboración, material defectuoso, etc. También incluyen el segundo ensayo hecho al producto cuando el ensayo primero ha detectado el fallo, así como las pérdidas de rendimiento debidas a procesos controlados deficientemente.
- Costes de fallos externos: coste que aparecen una vez que el producto está en poder del cliente. Incluyen costes de investigación y atención a reclamaciones por bienes defectuosos, los costes asociados a la repetición y sustitución de productos defectuosos devueltos por el cliente, costes por penalizaciones, así como los mayores costes incurridos en el servicio al cliente más allá de los contratos de garantía.

Una vez expuesto esto se quiere plantear el presupuesto del aseguramiento de la calidad para un transformador de potencia de este Trabajo Fin de Grado desde dos perspectivas en contextos muy diferentes que tienen importantes consecuencias, precisamente porque engloban Costes de No calidad que parecen no existir de primera mano.

El primer caso es un suministrador habitual con índices de calidad elevados y que se ha trabajado numerosas veces con ellos. Las dos primeras tareas que se muestran en la tabla de la ilustración 51 corresponden con la fase de Oferta y exigen un tal de 8 horas. El PPI y los procedimientos de pruebas, ya pertenecen a la segunda fase de

Fabricación, que envía el suministrador son conocidos y por tanto conlleva unas 8 horas revisar si ha cumplido con todos los requisitos exigidos.

A continuación, la preparación de la inspección a fábrica exige un día, traducido en 8 horas de trabajo, revisión de las hojas de características de los equipos, los ensayos correspondientes... Por último, la inspección en fábrica requiere aproximadamente de 6 días, incluyendo viajes.

La inspección se cierra sin pendientes por lo que en una semana se procederá al envío de la autorización del equipo, tercera y última fase del diagrama, para que pueda salir de la fábrica y transportarse hasta la instalación correspondiente.

Además si durante el proceso ha sido necesaria alguna comunicación, han sido fáciles, pero cabe añadir que no han expuesto aclaraciones a la oferta.

FABRICANTE CONOCIDO		
Tareas	Tiempo	Coste
Especificación Técnica	4 horas	25 €/hora
Oferta, ITEO y PPI	4 horas	25 €/hora
PPI Suministrador	4 horas	25 €/hora
Procedimientos pruebas equipo	4 horas	25 €/hora
Preparación inspección	8 horas	25 €/hora
Inspección	6 días	500 €/día
<b>TOTAL</b>		<b>3700 €</b>

**Ilustración 50. Tabla presupuesto fabricante conocido**

El segundo caso, es un suministrador desconocido para la empresa en un nuevo mercado, con diferente cultura, pensamientos y con el que nunca se ha trabajado. Si se revisan cada uno de los documentos que se muestran en la tabla de la ilustración 52, en comparación con el caso anterior, la dedicación en tiempo tiene un resultado bastante diferente.

Estas diferencias son debidas en la Especificación Técnica, oferta, ITEO y PPI a la cantidad de aclaraciones que exigen y por tanto hay que ir teniendo en cuenta en el resto de documentos. Respecto a la segunda fase, donde el suministrador adjudicado en este caso indio, envía la documentación requerida se deben realizar multitud de comunicaciones y llamadas, que no siempre tienen respuesta o si la hay no es válida, lo que alarga y extenúa en gran medida el tiempo dedicado por el equipo a las tareas de aseguramiento.

Por último, la inspección en fábrica se amplía nuevamente debido al viaje más lejano o la cantidad de pruebas solicitadas, ya que a un suministrador desconocido se le amplía el control desde la empresa exigiendo más requisitos de calidad que los habituales. En este caso, la inspección tiene cierre de pendientes (resolución de no conformidades), por lo que se retrasa la autorización de envío hasta que todas queden resueltas.

Pueden pasar hasta 4 o 5 meses para que la autorización de envío sea emitida por el Departamento de Logística, lo cual implica **Costes de No Calidad**, ya que se producirán retrasos en plazo en el proyecto que pueden llevar penalizaciones, porque el equipo debe transportarse desde la fábrica hasta la instalación de destino, además de los costes y el desgaste proporcionado al responsable de calidad-suministros.

En este caso, el tiempo de aseguramiento de la calidad con un fabricante desconocido puede ser 4 o 5 veces superior al tiempo que se considera en la planificación de este proyecto que es el habitual con un fabricante conocido.

FABRICANTE DESCONOCIDO		
Tareas	Tiempo	Coste
Especificación Técnica	8 horas	25 €/hora
Oferta, ITEO y PPI	16 horas	25 €/hora
PPI Suministrador, Procedimientos pruebas equipo, aclaraciones	24 horas	25 €/hora
Preparación inspección	8 horas	25 €/hora
Inspección	8 días	500 €/día
Aclaraciones hasta aprobación	8 horas	25 €/hora
<b>TOTAL</b>		<b>5600 €</b>

Ilustración 51. Tabla presupuesto fabricante desconocido

---

## Cap. 5 Conclusiones

---

Se ha completado con satisfacción la parte requerida en este Trabajo Fin de Grado (TFG) de la obtención del diseño del diagrama de procesos para el aseguramiento de la calidad de equipos eléctricos como resultado del primer objetivo propuesto.

Es solo una de las partes necesarias para la implantación del aseguramiento de calidad, ya que este debe ser el punto de partida para las empresas interesadas. Primero se debe conocer su importancia lo cual se ha querido destacar con este trabajo: la importancia de la calidad en el mundo actual.

Se ha simplificado el proceso dividiéndolo en tres fases totalmente diferenciadas, de tal forma que la documentación también fuese la mínima posible, ya que es una de las quejas comunes en este sector. A su vez, se han estandarizado procesos para que se obtenga como resultado una metodología y sea un paso ágil y fácil crear documentos.

Esta metodología es el resultado de implantar un estándar común de requisitos mínimos basados en tres principios fundamentales. Es solo uno de los diseños posibles para crear una metodología. Pero se quiere mostrar lo importante y a su vez, complejo que puede llegar a ser.

Al final se diseña un documento denominado Programa de Puntos de Inspección (PPI) que es el documento base con el que se realiza el control de calidad de los equipos eléctricos, pudiéndose extrapolar y diferenciar para cualquier equipo que se requiera suministrar. Este debe ser otro de los puntos a desarrollar por las empresas.

Se ha querido señalar la complejidad que tiene un equipo como un transformador de potencia siendo igual de difícil o más por tanto el aseguramiento del mismo. Con la metodología implantada se ha conseguido asegurar este equipo tan complicado y con tantos componentes auxiliares, lo que verifica que es una metodología correcta.

Pero esta metodología tiene multitud de posibles mejoras, tanto en el diseño como en la implantación. Si se consigue estandarizar este proceso para los diferentes tipos de equipos que se utilizan en los proyectos, por ejemplo, para equipos de tipo mecánico, de tipo fotovoltaico, entre otros. Se está concretando y simplificando de una vez, lo que ahorrará gran cantidad de tiempo que se materializa en beneficios.

Además, un Sistema de Gestión de Calidad, tiene como uno de sus objetivos la mejora continua. Si se dedican recursos ganados, con la nueva metodología implementada, en formación de personal, o en realizar más inspecciones para garantizar mayor eficiencia en el proceso del aseguramiento repercutirá de nuevo en mayores ganancias para la organización.

Para terminar es necesario establecer un seguimiento y un control de los suministradores que se utiliza para poder medir y evaluar a los mismos de tal forma que se eviten reclamaciones entre otras muchas situaciones. Por tanto, es muy importante mantener actualizadas las herramientas que la empresa disponga para ello ya que serán los mejores indicadores de la evolución de las mejoras y procesos que se implanten.

Además de los informes expuestos se pueden establecer muchos otros según se vaya conociendo a los suministradores, por ejemplo ir reduciendo el número de inspecciones porque te inspiren más confianza.



---

## ***Bibliografía y anexos***

---

### **Bibliografía**

- (1) ANEXO XV: TRANSFORMADORES PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS. ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES Buenos Aires; 2010.
- (2) AENOR. **UNE-EN 60076-3:2014**. 2014: Transformadores de potencia. Parte 3: Niveles de aislamiento, ensayos dieléctricos y distancias de aislamiento en el aire.9/24/2014 1:28:16 PM Zona horaria local (GMT - 4hr).
- (3) AENOR. **UNE-EN 60076-1:2013**. 2013: Transformadores de potencia. Parte 1: Generalidades.9/24/2014 1:23:03 PM Zona horaria local (GMT - 4hr).
- (4) AENOR. **UNE-EN 60076-2:2013**. 2013: Transformadores de potencia. Parte 2: Calentamiento de transformadores sumergidos en líquido.9/24/2014 1:26:26 PM Zona horaria local (GMT - 4hr).
- (5) AENOR. **UNE-EN 60034-1:2011**. 2011: Máquinas eléctricas rotativas. Parte 1: Características asignadas y características de funcionamiento.9/24/2014 1:34:44 PM Zona horaria local (GMT - 4hr).
- (6) AENOR. **UNE-EN 60076-10:2002**. 2002: Transformadores de potencia. Parte 10: Determinación de los niveles de ruido.9/24/2014 1:29:29 PM Zona horaria local (GMT - 4hr).
- (7) Alkargo. Ensayos de Transformadores. 19909/24/2014 1:06:59 PM Zona horaria local (GMT - 4hr).
- (8) Baoding Tianwei Group. **Outdoor Industrial Electric Power Transformers 3 Winding , 66kV 5000kVA**. 2014; Available at: <http://www.electric-power-transformers.com/sale-1794713-outdoor-industrial-electric-power-transformers-3-winding-66kv-5000kva.html>. Accessed 1 de Septiembre, 2014.
- (9) Endesa Educa. **Funcionamiento de los transformadores**. 2012; Available at: [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/funcionamiento-de-los-transformadores](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/funcionamiento-de-los-transformadores). Accessed 10 de Septiembre, 2014.

(10) Fundación vasca para la excelencia, Euskalit. Excelencia e innovación en la gestión.

(11) Grupo INI editor. Q. Prontuario. Gestión de la calidad. Primera ed. Madrid: Grupo INI; 1992.

(12) Industrias Mecáno Eléctricas Fontecha Yébenes. Transformadores de Potencia. 1st ed.: IMEFY; 2013.

(13) Pérez Fernández de Velasco, Jose A. Gestión de la calidad empresarial. Calidad en los servicios y atención al cliente. Calidad total. Madrid: ESIC Editorial; 1994.

(14) Prida Romero B. Apuntes de organización. Lean Manufacturing. 2014th ed.; 2014.

(15) Profesores de la Universidad de Córdoba. Pérdidas magnéticas por efecto de histéresis. Teoría Córdoba; 2009.

(16) Rivas E, Burgos JC, Garcia-Prada JC. Condition Assessment of Power OLTC by Vibration Analysis Using Wavelet Transform. Power Delivery, IEEE Transactions on 2009;24(2):687-694.

(17) Rivera Riquelme FA. Apuntes de Oficina Técnica. Dirección y evaluación de Proyectos; 2014.

(18) Sanz Feito J. Apuntes de transformadores trifásicos. Máquinas Eléctricas Rotativas. 2014th ed.

## Anexo

### 1. Equipos de CATEGORÍA I y II

DOCUMENTO	Presentar en oferta	Enviado por suministrador	Aprobado por empresa	Entregar durante suministro
Documentación GENERAL				
Certificación del SGC del suministrador (en caso de disponer). La ISO 9001 o equivalente	X	X		
Programa de Puntos de Inspección de fabricación (PPI)	X (PRELIMINAR)	X	X	X
Plan de Calidad (PC)		X	X	X
Procedimientos de fabricación, inspección y pruebas (incluidos protocolos de inspección/pruebas a cumplimentar)		X	X	X
Desviaciones y correcciones		X	X	X
Documentación FINAL				
Dossier de Calidad		X	X	X

### 2. Equipos de CATEGORÍA III

DOCUMENTO	Enviado por suministrador	Aprobado por empresa	Presentar en oferta	Entregar durante suministro
Documentación FINAL				
Dossier de Calidad	X	X		X